

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Inovace konstrukčního řešení pro bezdeformační
prošťhávání uzavřených profilů

Inovation of Design Solution for Deformation-less
Punching of Closed Profiles

Student:

Bc. Martin Zubalík

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Zubalík**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Inovace konstrukčního řešení pro bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů.**
Inovation of Design Solution for Deformation-less Punching of Closed Profiles.

Zásady pro vypracování:

Navrhněte vhodnou inovaci konstrukčního řešení střížné jednotky a rozpínacího adaptéru pro uzavřené profily. Návrh řešení proveďte s rozpínacím klínem nebo s manuálním nastavením aplikovaném na standardní profil.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Návrh možností konstrukčních řešení daného zařízení.
3. Proveďte patřičné výpočty.
4. Vypracujte vhodný postup údržby.
5. Proveďte vyhodnocení.

Bližší specifikace a požadavky provede firma ELVAC AUTOMATION s.r.o

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., SKF Ložiska a.s., ELVAC AUTOMATION s.r.o

Rozsah práce: min. 40 stran textu mimo přílohy. Výkresová dokumentace v rozsahu min. 1xA0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata**

Datum zadání: 10.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Martin Zubalík

Adresa trvalého pobytu autora práce: Polská 17, Olomouc

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ZUBALÍK, M. *Inovace konstrukčního řešení pro bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů*. Ostrava: katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, 56 s. Diplomová práce, vedoucí Blata, J.

Diplomová práce se zabývá inovací konstrukčního řešení střížného adaptéru. Na začátku je popsána problematika bezdeformačního prostřihávání uzavřených profilů. Dále je uveden popis prostřihávacího stroje, navržen vhodný systém údržby a popsán postup dávkového mazání v místě stříhu. V další části je proveden pevnostní výpočet metodou konečných prvků a navržena nová kombinace materiálů jednotlivých součástí střížného adaptéru. Poslední částí je návrh řešení pro horizontální ustavení adaptéru v prostřihávaných profilech.

Klíčová slova: stříhání, prostřihávání, děrování, uzavřený profil

ANNOTATION OF MASTER THESIS

ZUBALÍK, M. *Innovation of design solution for deformation-less punching of closed profiles*. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2010, 56 s. Master Thesis, head Blata, J.

Thesis is dealing with innovation of design solution for cutting adapter. At the beginning, there is described the issue of deformation-less punching of closed profiles. At the beginning, there is described the issue of deformation-less punching of closed profiles. The following is the description of punching machines, maintenance system design and solution of cut place lubrication. The next part contains strength calculation by the finite element method and there is a new combination of materials of individual cutting adapter's parts. The last part is the solution for the horizontal adjustment of adapter in punched profiles.

Keywordys: cutting, punching, closed profile

Obsah

Obsah	7
Seznam použitého značení	8
1 Úvod	9
2 Společnost ELVAC AUTOMATION s.r.o.	10
3 Obecné informace o stříhání	12
3.1 Bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů	16
3.2 Stroje pro bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů	18
3.3 Stroj HPM-M-3000	20
3.4 Údržba stroje HPM-M	23
3.5 Dávkové mazání v místě stříhu	25
4 Návrhy materiálu pro střížný adaptér	29
4.1 Průběh střížné síly	29
4.2 Okrajové podmínky pro výpočet MKP	36
4.3 Stávající materiál a jeho vlastnosti	38
4.4 Mechanické vlastnosti vybraných ocelí	41
4.5 Volba kombinace materiálů a zhodnocení	43
5 Konstrukční řešení střížného adaptéru	45
5.1 Stávající řešení	45
5.2 Návrh 1 – pevné uchycení	46
5.3 Návrh 2 – rozpínání pomocí pružin	50
6 Závěr	54
7 Použitá literatura	55

Seznam použitého značení

a	Délkový rozměr	[mm]
b	Délkový rozměr	[mm]
d, D	Průměr	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu (Youngův modul)	[GPa]
F	Síla	[N]
f	Součinitel smykového tření	[-]
k	Koeficient bezpečnosti	[-]
k_p	Tuhost pružiny	[N.mm ⁻¹]
$k_{stř}$	Koeficient zvýšení střížné síly	[-]
L	Délkový rozměr	[mm]
M	Moment síly	[Nm]
P_h	Stoupání závitu	[mm]
R_e	Mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti materiálu	[MPa]
R_{ms}	Mez pevnosti ve stříhu materiálu	[MPa]
S	Plocha	[mm ²]
t	Tloušťka materiálu	[mm]
α	Úhel profilu závitu	[°]
β_k	Koeficient zohledňující namáhání krutem	[-]
γ	Úhel stoupání závitu	[°]
φ'	Redukovaný třecí úhel	[°]
μ	Poissonova konstanta	[-]
ρ	Hustota	[kg.m ⁻³]
σ	Napětí	[MPa]

1 Úvod

Prostřihávání otvorů do uzavřených profilů je specifickou oblastí strojírenské výroby. Děrované profily mohou být použity pro různé regálové systémy, výroba oplocení, topných těles, nebo pro výrobu žebříků.

V diplomové práci je popsána problematika bezdeformačního prostřihávání uzavřených profilů. Dále jsou uvedeny podrobnosti o prostřihovacím stroji HPM-M, včetně návrhu vhodného systému údržby. Část je také věnována postupu dávkového mazání v místě stříhu, které má za cíl zlepšit kvalitu střížné hrany.

Podstatnou částí diplomové práce je návrh a inovace konstrukčního řešení střížného adaptéru. Je žádoucí zjistit, zda je možné některé součásti adaptéru vyrábět z ekonomicky výhodnějšího materiálu. V současnosti jsou všechny součásti adaptéru vyráběny z nástrojové oceli třídy 19, což má nevýhodu ve vysokých nákladech. Obrábění těchto ocelí se provádí nekonvenčními metodami, jako je například elektroerozivní obrábění. Nejprve tedy bude zjištěno zatížení adaptéru a proveden pevnostní výpočet metodou konečných prvků. Jeho výstupem bude rozložení napětí na jednotlivých součástech adaptéru, podle kterých bude možné navrhnout kombinaci nových materiálů. Pro zvolené materiály bude opět provedena kontrola a stanovení bezpečnosti.

Další část inovace souvisí s problematikou horizontálního ustavení adaptéru v prostřihávaných profilech. Tyto profily jsou vyráběny v různých tolerancích, které se u odlišných výrobců liší. Při použití stejného adaptéru pro profily z různých výrobních sérií dochází ke vzniku vůlí mezi vymezovacími deskami a stěnami profilu. Aby se těmto vůlím zamezilo, je nutné vymezovací desky přibrušovat, nebo vyrábět nové pro různé série profilů. Cílem je tedy navrhnout funkční řešení, které by zajistilo horizontální vystředění adaptéru v profilu.

2 Společnost ELVAC AUTOMATION s.r.o.

ELVAC AUTOMATION je akciovou společností holdingového typu, která sdružuje skupinu dceřiných společností, poskytujících obchodně-technické a inženýrsko-dodavatelské služby v oblasti průmyslových a speciálních PC systémů, průmyslové automatizace a silnoproudé elektrotechniky. Dále tato skupina společností nabízí služby v oblasti ekologie, světelné a neonové reklamy, výroby jednoúčelových strojů a zabývá se také obchodními činnostmi.

Společnost ELVAC AUTOMATION je také tradičním výrobcem širokého spektra strojů a zařízení. Hlavní specializací je konstruování a výroba jednoúčelových strojů a kompletačních linek. Tyto stroje a zařízení se využívají hlavně v automobilovém průmyslu.

Kromě toho společnost navazuje na více jak 10ti letou tradici ve výrobě strojů a zařízení pro bezdeformační děrování (prostřihávání), vystřihování a dělení uzavřených i otevřených profilů a trubek.

Všechny stroje a zařízení jsou stavěny na nejvyšším standardu kvality, v souladu s certifikací CE a prověřeny řadou spokojených zákazníků po celém světě. Při konstruování a výrobě všech zařízení, strojů a linek společnost uplatňuje inovativní a chytrá řešení, které usnadňují zpracování technického a funkčního zadání. Produkty jsou oblíbeny, zejména s ohledem na svou dlouhou životnost, přesnost, kvalitu práce a také spolehlivost.

Společnost si je vědoma, že základním měřítkem konkurenceschopnosti je kvalita poskytovaných produktů a služeb. A jenom zákazník je ten, kdo může tuto kvalitu potvrdit. Předvídat a pochopit potřeby zákazníka a naplnit je každodenní praktickou činností je proto základní filozofií společnosti. Dále je uvedena historie společnosti.

2008 Změna názvu - v průběhu roku 2008 a 2009 všechny organizační jednotky holdingu postupně převzaly název ELVAC do názvu svých obchodních jmen místo pojmenování ELCOM. Tato změna odráží rozhodnutí o vstupu společnosti VAE CONTROLS, s.r.o., jakožto strategického partnera, do společnosti ELCOM GROUP a.s.
Holding ELCOM GROUP a.s. majetkově vstoupil do společnosti SIRIUS Praha, s.r.o., čímž došlo k rozšíření společnosti ELCOM MACHINERY, s.r.o.

- 2007 Dceřiná společnost ELCOM MACHINERY, s.r.o. vybudovala úzký partnerský vztah se společností SIRIUS Praha s.r.o., který vyústil v nabídku a realizaci široké škály prostřihovacích strojů.
Společnost ELCOM GROUP, s.r.o. (Slovensko) rozšířila své aktivity pro Slovenskou republiku o regionální centrum v Bratislavě zaměřenou na dodávky zboží a služeb všech holdingových společností pro Slovenskou republiku.
- 2006 Založení dceřiné společnosti ELCOM PROMEDIA, s.r.o. zabývající se výrobou neonových a světelných komponentů a reklamy. Vzhledem k trvalému růstu a rozvoji společnost přesídlila do nové budovy, která již kapacitně dostačuje potřebám společnosti. Nové sídlo se nachází na ulici Hasičská v Ostravě-Hrabůvce. Došlo ke kapitálovému vstupu elektroinženýrské společnosti Ingelectric a.s. do dceřiné společnosti ELCOM AUTOMATION, s.r.o. Toto spojení přináší širší odborné zázemí a možnost proniknutí na nové trhy.
- 2005 Zavedení holdingových pravidel, řízení a organizace ve společnosti ELCOM GROUP a.s. a další činnosti byly vyčleněny do dceřiných společností ELCOM AUTOMATION, s.r.o., ELCOM EKOTECHNIKA, s.r.o. a byla založena nová dceřiná společnost ELCOM MACHINERY, s.r.o. se zaměřením na výrobu a dodávky jednoúčelových strojů, nástrojů a strojů pro bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů.
Založení společnosti ELCOM GROUP, s.r.o. (Slovensko) v Trenčíně se zaměřením na dodávky zboží a služeb v oblasti průmyslových a speciálních PC systémů.
- 2003 Dceřiná společnost ELCOM IPC, s.r.o. přijala systém řízení kvality ISO 9001:2000, a to jak pro výrobu, tak pro vývoj a servisní služby.
- 2002 Založení společnosti ELCOM IPC PRAHA, s.r.o. se zaměřením na poskytování servisních služeb.
- 1999 Založení společnosti ELCOM GROUP a.s. a transformace společnosti ELCOM s.r.o. na akciovou společnost. Založení společnosti ELCOM IPC, s.r.o. a převedení činnosti v oblasti výroby a dodávky průmyslových a speciálních počítačových systémů do této společnosti.
- 1997 Vybudování nového sídla společnosti na Místecké ulici v Ostravě-Vítkovicích.
- 1995 Zahájení činnosti společnosti ELCOM AUTOMATION, s.r.o.
- 1994 Stáž v Norském institutu pro výzkum ovzduší (NILU) byla navázána spolupráce s divizí Ekotechnika a došlo k rozvoji metod monitorování organických polutantů.
- 1993 Zahájení velkoobchodního prodeje komponent a přístrojů pro průmyslovou automatizaci a elektrotechniku.
- 1991 Založení společnosti ELCOM s.r.o. s orientací na služby v oblasti automatizace, průmyslové výpočetní techniky a ekotechniky.

Informace převzaty z [1].

3 Obecné informace o stříhání

Stříhání patří do skupiny plošného tváření. Při tváření (lisování) dochází k trvalé změně tvaru materiálu, bez odebírání třísek a za působení síly. Při tváření za studena probíhá celý proces před rekrystalizační teplotou materiálu. Tváření dělíme na plošné a objemové.

Při plošném tváření je výsledného tvaru dosaženo bez velké změny tloušťky nebo průřezu materiálu a tedy i bez změny mechanických vlastností materiálu. Podle deformace se plošné tváření dále dělí na plošné tváření s deformací s místním porušením soudržnosti materiálu (stříh) a na plošné tváření s tvárnými deformacemi, bez porušení soudržnosti materiálu (změna tvaru bez oddělování materiálu). Při objemovém tváření dochází ke značné změně tloušťky nebo průřezu materiálu. Objem materiálu se nezmění, ale dojde k jeho zpevnění a ke snížení tažnosti.

Názvy základních prací lisování, jejich rozřídění na jednotlivé operace a dále rozřídění a pojmenování nástrojů podle jejich funkce stanovuje norma ČSN 22 6001.

Základní dělení prací podle [2]:

- Stříhání - prosté stříhání, děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování, nastřihování, prostřihování, protrhávání, vysekávání.
- Ohýbání - prosté ohýbání, ohraňování, rovnání, zakružování, lemování, obrubování, osazování (prosazování), drápkování, zkrucování.
- Tažení - prosté tažení, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování, objemové tažení.
- Tlačení - tlačení tvaru, rotační obrubování, rotační lemování, rotační rozšiřování, rotační zužování, rotační žlábkování, rotační drápkování, osazování (prosazování), tlačení se ztenčením stěny.


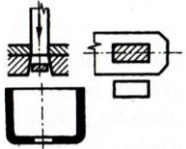
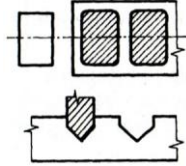
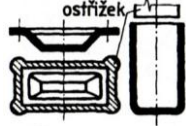
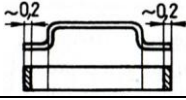
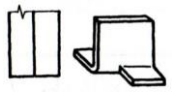


Dělení lisovacích nástrojů podle [2]:

- Jednoduché - pouze pro jeden pracovní úkon.
- Postupové - možnost dvou a více pracovních úkonů, stejného druhu, které vykonává stejný nástroj za sebou. Např. děrování a stříhání.

- Sloučené - umožňuje výrobu výlisku najednou, sloučením několika pracovních úkonů stejného druhu v jednom nástroji. Např. současné děrování a stříhání.
- Sdružené – jedná se o postupové nebo sloučené nástroje, pro provádění pracovních úkonů různého druhu. Např. vystřihování a tažení.

Stříhání můžeme považovat za nejrozšířenější operaci tváření a za jednu z nejrozšířenějších operací ve strojírenské výrobě. Základní operace stříhání jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 – Základní práce stříhání [3]

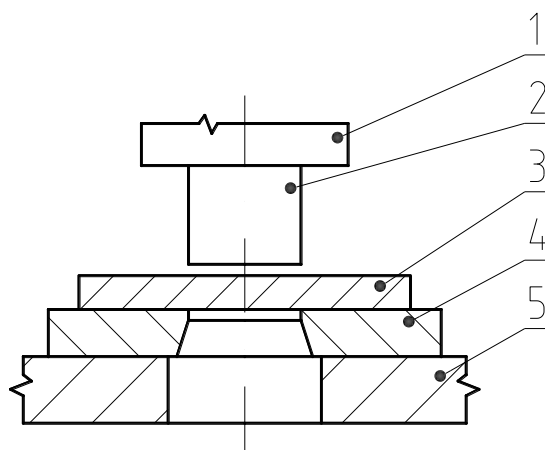
Název práce	Charakteristika operace	Vyobrazení	Název nástroje	Název výrobku
Prosté stříhání	Rozdělování materiálu, např. pásů, tabulí, tyčí		Nůžky, stříhadlo	Výstřižek
Děrování	Vytváření děr různých tvarů. Vystřižená část tvoří odpad		Děrovadlo	Výstřižek
Vystřihování	a) Zhotovení výstříků různého tvaru oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výstřižek b) Oddělování částí v okraji materiálu. Vystřižená část tvoří odpad		Stříhadlo	Výstřižek
Ostřihování	Oddělování přebytečného materiálu z výtažků, protlačků, výstřížků, výkovků, apod.		Stříhadlo	Výstřižek
Přistřihování	Dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch		Stříhadlo	Výstřižek
Nastřihování	Částečné nastřihnutí materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen		Stříhadlo	Výstřižek
Prostřihování	Částečné nastřihnutí materiálu v libovolném tvaru uvnitř výstřížku		Stříhadlo	Výstřižek
Protrhávání	Protržení materiálu pro vytváření hrotů, děr, výstupků		Protrhávací	Výstřižek

Stříhání lze dále rozdělit podle teploty procesu:

- stříhání za studena (používá se pro běžné oceli a plechy)
- stříhání za tepla (pro tvrdší materiály, nebo tlustší průřezy, ohřev probíhá na teplotu kolem 700°C)

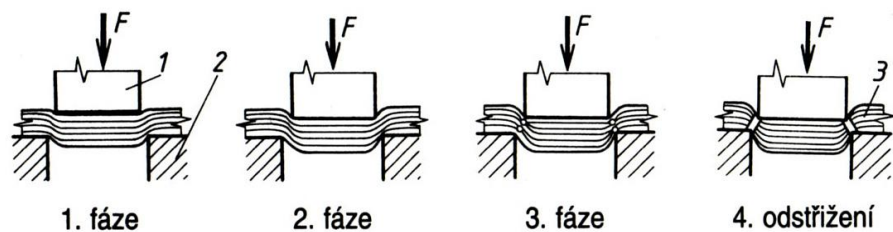
Stříháním se rozumí postupné nebo současné oddělování materiálu v celém průřezu podél křivky stříhu. Při oddělování je materiál namáhán nad mez pevnosti ve stříhu R_{ms} . Stříhání se používá na přípravu polotovarů, ale i pro vystřihování výsledných tvarů součástí z plechů, pásů nebo profilů.

Pro stříhání se používají různé nůžky a stříhadla. Stříhadlo je nástroj skládající se ze dvou základních částí - střížníku a střížnice. Ve většině případů je u klasického stříhadla materiál veden vodíci lištami a jeho posuv je omezen dorazy. Schéma jednoduchého stříhadla je znázorněno na obrázku 1 (1 – stopka, 2 – střížník, 3 – materiál, 4 – střížnice, 5 – základová deska).



Obr. 1 – Schéma jednoduchého stříhadla

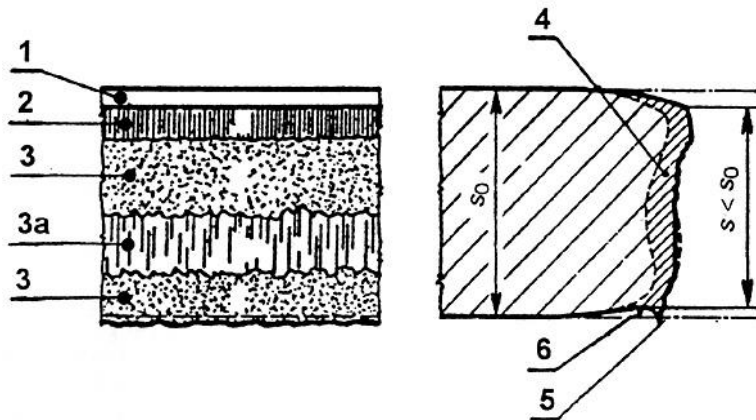
Princip stříhání je založen na působení protilehlých ostrých hran, způsobujících v řezné rovině smykové napětí. Při překročení meze pevnosti ve stříhu R_{ms} se materiál oddělí. Hrany nástroje vniknou pouze do určité části hloubky materiálu a poslední část se oddělí lomem. Z tohoto důvodu není střížná plocha dokonalá. Kvalitu střížné plochy můžeme ovlivnit velikostí střížné vůle. Průběh stříhání se dělí do třech fází – viz. obr. 2.



Obr. 2 – Průběh stříhání (1-střížník, 2-střížnice, 3-materiál) [3]

V první fázi nastává pružná deformace, při které se materiál stlačuje a ohýbá. Napětí v materiálu nepřesahuje mez kluzu R_e . Ve druhé fázi je již napětí vyšší než mez kluzu a dochází tedy k trvalé deformaci. Největších hodnot napětí je dosaženo v okolí střížných hran. Ve třetí fázi již napětí dosáhne meze pevnosti ve stříhu (smyku) R_{ms} . Začnou vznikat trhliny, které se rychle rozšiřují. Následně dojde k úplnému oddělení materiálu, které nastane ještě dříve, než střížník projde celou tloušťkou materiálu. Při dalším pohybu je již výstřížek vytlačen ze střížnice.

V okolí stříhu dochází k trvalé deformaci materiálu, proto dochází ke zpevnění a snížení tvárnosti v okolí střížné plochy (oblast 4 na obr. 3). Střížnou plochu lze rozdělit na několik oblastí – viz. obr. 3.



Obr. 3 – Vzhled střížné plochy [4]

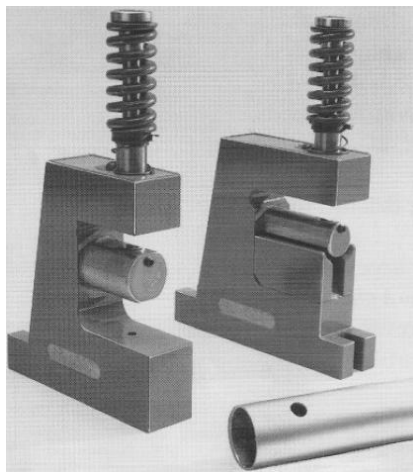
Oblasti střížné plochy podle [4]:

1. **Zeslabení tloušťky** – počátečním pěchováním se zmenší tloušťka materiálu. Zmenšení tloušťky závisí na tvárnosti materiálu. Bývá 5 – 8 % tloušťky plechu.
2. **Plastický stříh** – plastickým zatlačením nástroje do materiálu vzniká vlastní střížná plocha. Tato plocha je nejhladší a nejpřesnější. Bývá 10 – 40 % tloušťky plechu.

3. **Oblast lomu** – tato oblast tvoří značnou část střížné plochy. Horní část je prohloubena, spodní část vystupuje. Oblast **3a** je **oblastí otěru** a vzniká při vystřihování ve stříhadlech v důsledku vzájemného tření vystupujících pásem lomu. Proto je toto pásmo rovnější a hladší.
4. **Zpevněná oblast** – Zvětšuje se s ubývajícím tvárností materiálu a otupením břitů.
5. **Otřep** – je na spodní straně střížné plochy a závisí na otupení spodního nože a tvárnosti materiálu.
6. **Vtisk spodního břitu** – čím větší je úhel čela spodního nože, tím spíše dojde k jeho zatlačení do materiálu.

3.1 Bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů

Prostřihávání otvorů do uzavřeného profilu běžným způsobem je v praxi většinou nepoužitelné, protože při stříhu dochází k nežádoucímu zborcení stěny otvoru. Řešením je nasunout profil na trn s odpovídajícím a přesně umístěným otvorem. Stěna profilu má tak pevnou podporu a nedojde k jejímu nežádoucímu zdeformování. Tímto způsobem je možné vytvářet otvory libovolných tvarů. Omezením tohoto základního způsobu je nutnost umístění otvoru poblíž konce profilu z důvodů omezení, daných délkou vetknutého trnu. Ukázka stříhadla pracujícího na tomto principu je na obr. 4.

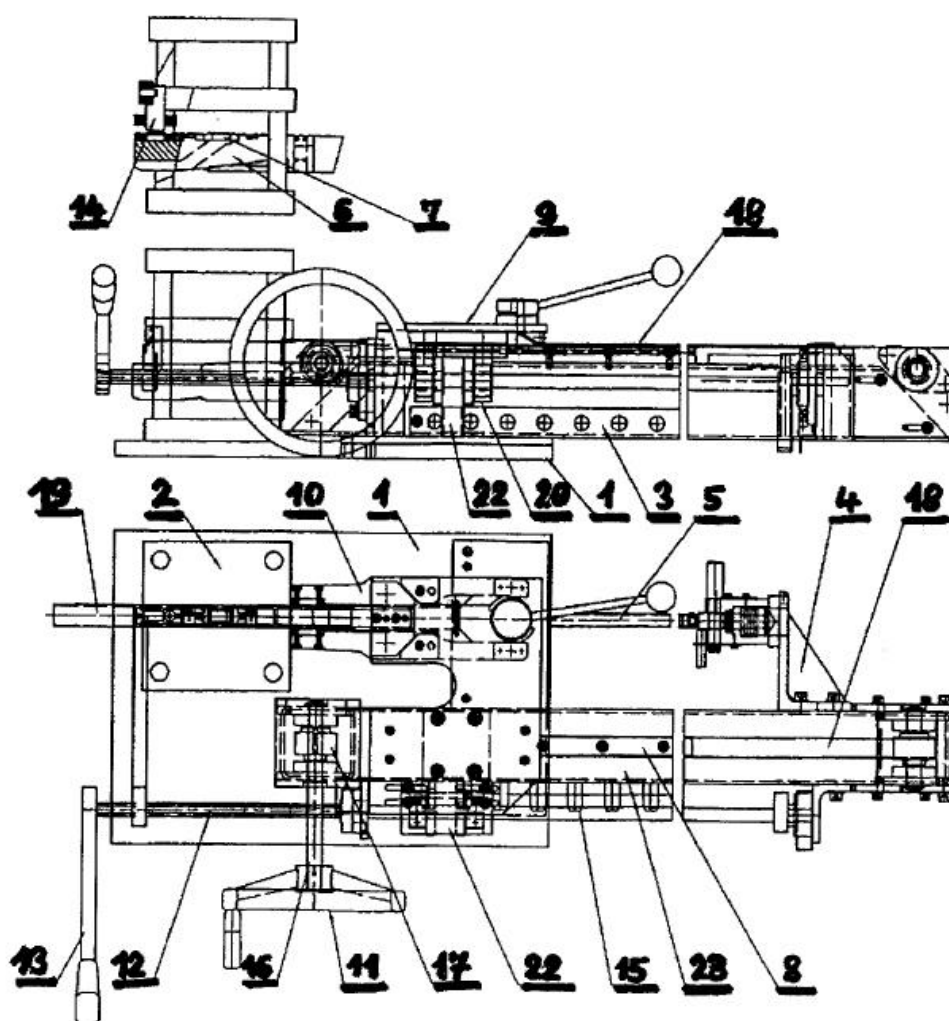


Obr. 4 – Stříhadlo [5]

Nevýhody výše uvedeného způsobu řeší patent JUDr. M. Zelenky s názvem Zařízení pro bezdeformační prostřihávání otvorů do profilů [6] z r. 2005. Patent se týká vynálezu zařízení pro bezdeformační prostřihávání otvorů do uzavřených profilů kruhových,

obdélníkových i jiných speciálních tvarů. Toto zařízení odstraňuje různé nevýhody jiných způsobů (např. pořizovací náklady a nároky na obsluhu u CNC strojů) umožňujících výrobu otvorů.

Následuje přesný popis podle patentu [6]. Zařízení sestává z upínací desky 1, ke které je upevněna nejméně jedna prostřihávací jednotka 2 s nejméně jedním vyměnitelným průstřižníkem různých tvarů. K upínací desce je také upevněn nosník 23, k němuž je připevněn držák 4 adaptérové tyče, ve kterém je upevněna tyč 5 s adaptérem 6, na němž je upevněna nejméně jedna průstřižnice 7. K nosníku 23 je upevněna dorazová lišta 3 se zachytávacími kolíky 15 a také lineární vedení 8 s vozíkem 9. K tomuto vozíku jsou připevněny upínací čelisti 10 profilu, krokovací mechanismus 20 a hřídel 16 s ručním kolem 11 a řemenicí 17. K upínací desce 1 je dále připevněna páka 13 s ovládací tyčí 12, ke které je připevněn alespoň jeden zachytávací element 14 a suvně připojen středící palec 22 krokovacího mechanismu 20.



Obr. 5 – Zařízení pro bezdeformační prostřihávání otvorů do profilů [6]

Toto zařízení je využitelné pro děrování profilů regálových systémů, výrobu oplocení, topných těles, nebo pro výrobu žebříků.

3.2 Stroje pro bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů

Stroje pro bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů u nás vyrábí a dodávají společnosti ELVAC AUTOMATION s.r.o. a Innovate Technology Solutions, s.r.o. Dále se budu zabývat pouze produkty společnosti ELVAC AUTOMATION s.r.o.

Do výrobního procesu jsou firmami často zařazovány CNC stroje, které zajišťují nejefektivnější způsob prostřihávání. Posuv se obvykle řeší servomotorem nebo krokovým motorem, který pohání ozubený řemen, případně kuličkový šroub. V případě delších profilů nebo požadavku na vyšší rychlost posuvu se používá modernější řešení s lineárním motorem. Nejvyspělejším zařízením pro děrování je stroj HPML-A-2T. Jedná se o celosvětovou špičku mezi stroji pro děrování uzavřených profilů. Je to hydraulický děrovací stroj s lineárním motorem, který je schopný skrz 2 stěny profilu najednou díky dvěma osám pro děrování. Výroba je na tomto stroji velmi efektivní. Veškeré operace jsou řízeny počítačem, lze naprogramovat i nepravidelné rozteče. Program lze pro jednotlivé profily uložit do paměti a později zvolit pouze zadáním jeho pořadového čísla. Vysokou přesnost prostřihávání doplňují funkce pro kontrolu správnosti délky profilu, což pomáhá zabránit výrobě vadných výrobků.

Níže je uveden přehled všech strojů pro bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů dodávaných společností ELVAC AUTOMATION s.r.o. (informace podle [1]). Stroje mají shodné parametry – viz. tabulka 2.

Tab. 2 – parametry prostřihávacích strojů

Střížná síla	10 t – 17 t (100 kN – 170 kN)
Max. tloušťka materiálu	10 mm
Max. průměr otvoru	38 mm
Rychlost úderů prostřihu	50 – 70 / min
Max. délka profilu	6.000 mm – pro speciální řešení i 12.000 mm
Max. rychlost průstřihu	0,9 – 1,3 sekund / otvor
Tolerance sousedních otvorů	+/- 0,2 mm

HPM-M

Hydraulický prostřihávací stroj s manuálním posuvem a odměřováním.

Vhodné pro větší série profilů s vyšším počtem otvorů stejných velikostí. Rozteče otvorů mohou být různé, ale pozice otvoru musí být stejná pro celý profil. Rozpínací adaptér a jednotka pro středění profilu před každým úderem snižují velikost deformace na minimum. To umožňuje snadný posuv a zajišťuje vhodnost použití pro materiály nižší úrovně kvality a s velkým rozsahem tolerance.



HPMR-A

Hydraulický prostřihávací stroj s ozubeným řemenem a servomotorem - CNC Automat.

Jako HPM-M, plus začlenění programovatelného automatického posuvu, s možností programování roztečí otvorů, s hydraulickým upnutím. Celý cyklus prostřihování je automatický.



HPML-A-1

Hydraulický prostřihávací stroj s lineárním elektromotorem - CNC Automat.

Jako HPMR-A, plus velmi dobré parametry lineárního elektromotoru, v robustní konstrukci stroje, s nastavováním úderu lisu na řídicím panelu. Velmi efektivní a hlavně dlouhodobě přesné, bezotřepové a bezúdržbové zařízení.



HPML-A-2

Hydraulický prostřihávací stroj s lineárním elektromotorem - CNC Automat.

Jako HPML-A, plus vyšší výkonnost díky dvěma osám pro děrování dvou profilů najednou.

HPML-A-1T

Hydraulický prostřihávací stroj s lineárním elektromotorem - CNC Automat.

Jako HPML-A, plus vyšší výkonnost díky funkcionalitě děrování skrz dvě stěny profilu najednou, pro oboustranné děrování v jednom cyklu.

HPML-A-2T

Dvouosý hydraulický prostřihávací stroj s lineárním elektromotorem - CNC Automat s děrováním skrz 2 stěny profilu najednou.

Jako HPML-A-1T, plus vyšší výkonnost díky dvěma osám pro děrování dvou profilů najednou.

3.3 Stroj HPM-M-3000

V této práci je se zabývám strojem HPM-M-3000, což je nejnižší model série strojů pro bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů. Tento stroj je určený pro prostřihávání profilů o maximální délce 3000mm. Posuv je u tohoto typu prováděn ručně obsluhou. Adaptér, který bude řešen dále, je univerzálně použitelný pro všechny stroje série.

Technická specifikace stroje podle [1]:

Maximální prostřihávací síla:	170 kN
Čas pracovního cyklu:	do 1,5s (dle rychlosti obsluhy)
Maximální délka děrovaného profilu:	3000 mm
Prostřihávaný profil:	jekl 30x30x2 – max. 3000
Posuvné a krokovací zařízení:	manuální
Délka:	6550 mm
Šířka:	900 mm
Výška:	2000 mm
Výška pracovního stolu hlavního rámu:	930 mm
Celková hmotnost:	700 kg

Celkový příkon:	4,2 kW
Elektrická soustava:	3NPE AC 50Hz 400V/TN-C-S

Základní části stroje (viz. obr. 6):

1. Výškově seřiditelný dopravník.
2. Hlavní rám s hydraulickým agregátem.
3. Zřízení pro manuální a mechanický posuv profilu.
4. Tyč s rozpínacím adaptérem.
5. Prostřihávací jednotka.
6. Elektroinstalace stroje.



Obr. 6 – Základní části stroje HPM-M-3000

Postup děrování:

1. Obsluha se vizuálně se přesvědčí o správném nastavení a seřízení stroje a pak ho zapne.
2. Následně obsluha položí profil na dopravník.
3. Střížná plocha se namaže olejem či emulzí.
4. Profil se nasune do nástroje na adaptér a dorazí na doraz (čelisti) v upínacích kleštích.

5. Pomocí páky upínacích kleští se upne profil.
6. Otáčením ručního kola přesune profil do pravé krajní polohy.
7. Proveďte se kontrola, zda jsou správně nastaveny všechny prvky.
8. Pomocí středící páky se zasune středící palec do mezery mezi nachytávacími kolíky tak, že je profil umístěn v poloze pro prostřížení prvního otvoru. Současně je tím pomocí středící páky zasunut nachytávač do adaptéru, čímž je adaptér vystředěn. Tím je vystředěna i průstřižnice vůči průstřižníku a zároveň sepnut koncový spínač středící páky.
9. Spustí se cyklus pro prostřížení otvoru sešlápnutím nožního spínače.

Po sepnutí nožního spínače jsou provedeny tyto operace:

Pro rozpínací adaptér:

Rozepne se adaptér, koncový spínač rozpínání adaptéru se sepne, hlavní hydraulický válec vykonává pohyb směrem dolů (průstřižník do průstřižnice), rozepne se koncový spínač horní úvrati a sepne koncový spínač spodní úvrati.

Pro nerozpínací adaptér:

Hlavní hydraulický válec vykonává pohyb směrem dolů (průstřižník do průstřižnice), rozepne se koncový spínač horní úvrati a sepne koncový spínač spodní úvrati.

Další operace:

Koncový spínač spodní úvrati dá pokyn k rozepnutí adaptéru, předtím byl pohyb hydraulického válce nahoru. Koncový spínač horní úvrati zastaví pohyb hydraulického válce.

10. Ručním ovládacím kolem se posune profil do polohy příštího otvoru. Celý cyklus se opakuje od bodu 7. Postupuje se až do vyděrování posledního otvoru.
11. Pákou se uvolní profil z upínacích kleští, následně se profil vyjme a vysype se z něj odpad. Stejným způsobem je možné vyděrovat i druhou stranu profilu.

Během děrování musí obsluha kontrolovat, zda se v děrovaném profilu nachází přibývající odpad (nesmí dojít k nahromadění odpadu v adaptéru).

3.4 Údržba stroje HPM-M

Cílem údržby každého stroje je zajištění provozní spolehlivosti a bezpečnosti provozu a z toho plynoucí snížení nákladů, které mohou vzniknout v důsledku neplánovaných prostojů při neprovozuschopném stavu stroje. Kvalita údržby závisí na systému údržby nasazeném v místě, kde bude stroj provozován. Mělo by se jednat alespoň o systém plánovaných preventivních oprav, který zajišťuje přehled o naplánovaných odstávkách stroje. Naopak je zbytečné nasazovat příliš sofistikovaný systém, vzhledem k jeho nákladnosti. Porovnání vybraných systémů údržby podle [7] je uvedeno dále.

Systém údržby po poruše

Při využití tohoto systému jsou opravy prováděny až po zjištění poruchy. Nároky a náklady na údržbu jsou minimální a neexistuje žádný plánovaný přístup. Tento systém se dá použít pouze u strojů, které nejsou důležité pro souvislý výrobní proces.

Systém plánovaných preventivních oprav

Opravy a prohlídky jsou předem naplánované a podle tohoto plánu jsou prováděny. Tento systém není optimální a náklady na údržbu jsou zbytečně vysoké, protože cyklus je pevně daný a nezávislý na skutečném technickém stavu stroje. Nicméně poskytuje alespoň základní výhodu v tom, že je předem naplánována doba odstavení stroje.

Systém diferencované proporcionální péče

Na stroje je nahlíženo nezávisle, podle jejich významu, využití, provozního zatížení, apod. Plánování údržbářských procesů tedy probíhá na základě složitosti stroje, jeho technické úrovně, technickém stavu a znaků opotřebení a také podle náročnosti údržby.

Systém diagnostické údržby

Tento systém již bere v úvahu skutečný technický stav stroje na základě objektivních metod technické diagnostiky. Odstavení stroje nastane v případě, že je dosaženo mezního opotřebení, nebo jsou překročeny přípustné tolerance. Metody technické diagnostiky zde využíváme k detekci poruchy a lokalizaci místa jejího výskytu.

Systém prognostické údržby

Tento systém je rozšířením systému diagnostické údržby. Z parametrů naměřených metodami technické diagnostiky jsou sestaveny trendy jejich vývoje a na základě těchto trendů je určena zbytková životnost stroje (tedy čas do nutné opravy).

Následuje ještě ***Systém automatizované údržby*** a ***Systém totálně produktivní údržby*** (TPM), ale nad těmi nemá smysl uvažovat, pokud již nejsou v místě provozu zavedeny.

Pro údržbu stroje HPM-M bych doporučil systém diferencované proporcionální péče (v případě, že není v místě provozu již nasazen lepší systém), který zajistí optimální spolehlivost při přijatelných nákladech na údržbu.

Údržba jednotlivých částí stroje

Vzhledem k tomu, že stroj obsahuje hydraulický obvod, je nutné jej udržovat v čistotě, aby nedošlo k poškození jeho částí (odstraňovat třísky v okolí pístnice, dodržovat čistotu při opravách, zakrýt otevřené spoje apod.). Dále je nutné v pravidelných intervalech kontrolovat hladinu hydraulického oleje a také, zda nedochází k jeho úniku. Tato kontrola by se měla provádět měsíčně. Pro hydraulický olej je v různých zdrojích udávána životnost cca 5000 provozních hodin a po uplynutí této doby je nutné olej vyměnit. Součástí obvodu jsou i olejové filtry, u kterých je s ohledem na znečištění potřeba vyměňovat filtrační vložky. Výrobce doporučuje použít hydraulickou kapalinu OH-HM 46, která je určena pro zařízení s vysokým mechanickým a tepelným namáháním. Podle produktového listu [8] se jedná o hydrogenačně rafinovaný ropný olej s aditivy pro zlepšení oxidační stálosti, zamezení pěnivosti a zlepšení antikoročních a protioděrových vlastností. Dále je možné použít biologicky odbouratelnou hydraulickou kapalinu PRIMOL EKO 36 H, která má podobné vlastnosti.

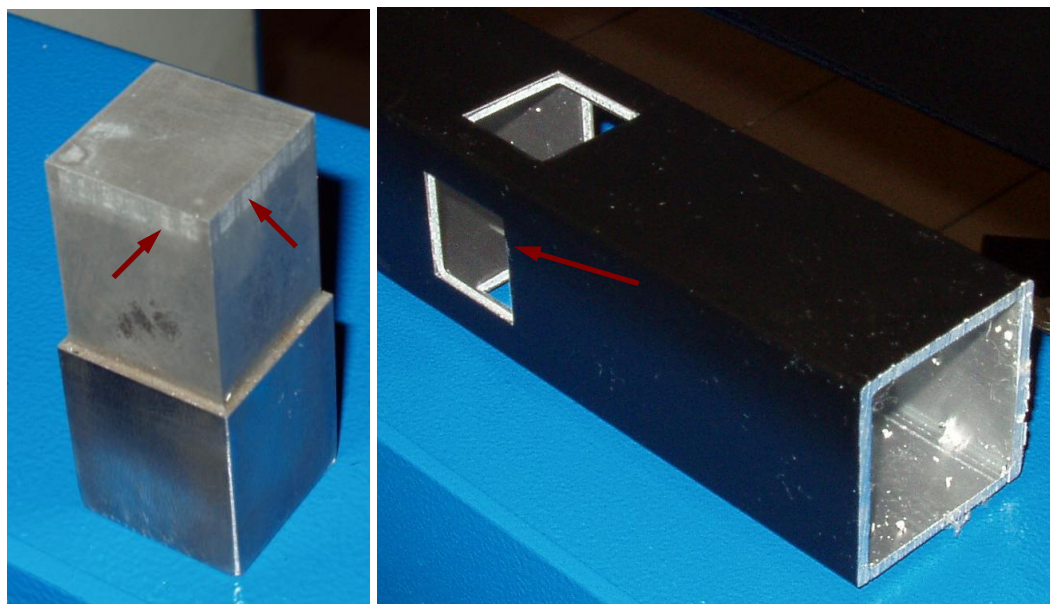
Dále je potřeba kontrolovat a udržovat mechanické součásti stroje. Ložiska je nutno mazat 1x za měsíc a na pohyblivých plochách je nutno udržovat slabý olejový film. Pohyblivé části prostřihávací jednotky je nutno mazat 1x za týden.

Životnost nástrojů se prodlouží včasným broušením průstřižníku a průstřižnice. Výrobce [1] doporučuje brousit tyto nástroje po vyděrování cca 10000 otvorů.

3.5 Dávkové mazání v místě stříhu

Ke snížení tření a ke zlepšení kvality povrchu je vhodné prostřihávanou plochu domazávat. U měkčích materiálů se bez mazání neobejdeme.

Jako příklad je uvedena situace, která nastala při prostřihování otvorů do hliníkového čtvercového profilu. Poměrně rychle začalo docházet k nalepování materiálu na okrajové plochy střižníku, což je vidět na obrázku 7 vlevo. Dále se objevovaly povrchové vady, jako poškození povrchové úpravy odtržením části této vrstvy (obrázek 7 vpravo), nebo nežádoucí prohnutí či protlačení okrajů. Všechny tyto vady vznikají v důsledku tření, které je možné částečně snížit mazáním.



Obr. 7 – Problematika prostřihávání hliníkového profilu

Uvedená problematika byla vyřešena instalací jednoduchého mazacího systému, který před stříhem dávkuje mazivo v malém množství na povrch, který bude prostřihnout. Řešení je znázorněno na obrázku 8.

Toto řešení se v praxi osvědčilo, proto se začalo uvažovat o zavedení dávkového mazacího systému jako standardní součást stroje.

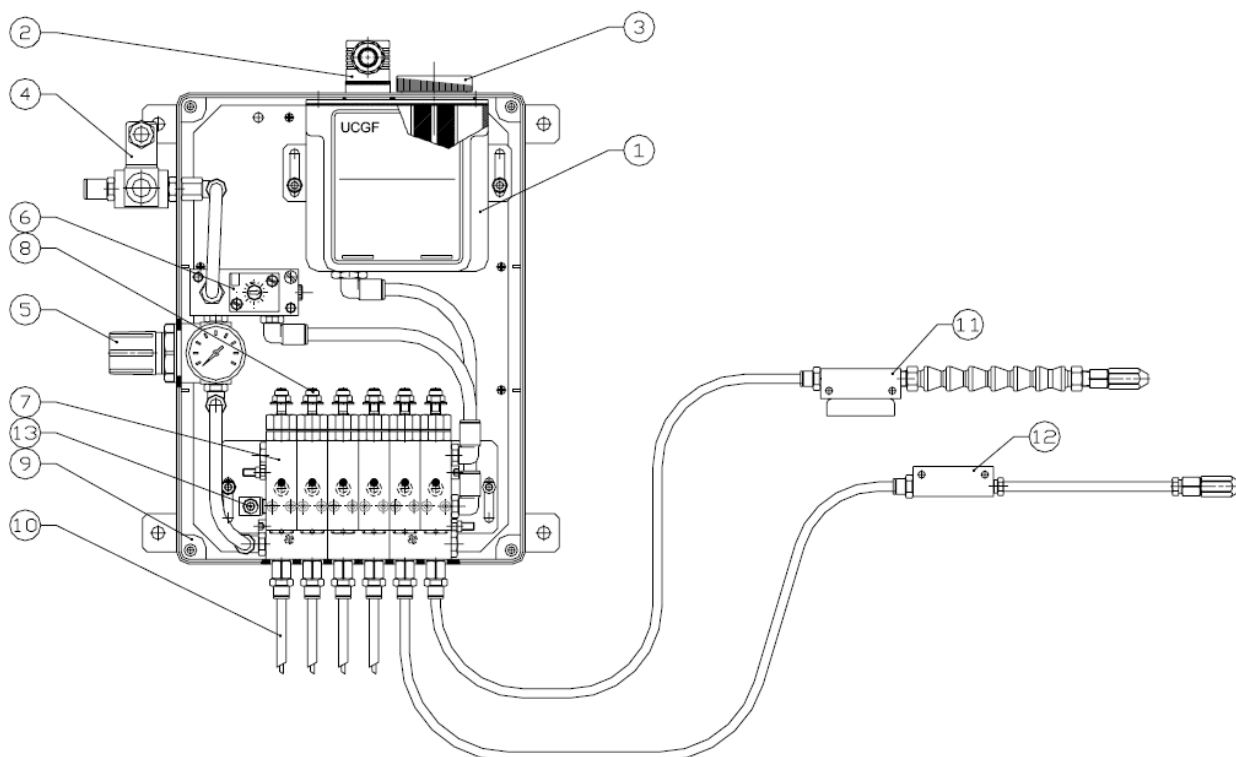


Obr. 8 – Dávkové mazání

Pro dávkové mazání byl jako jedna z variant zvolen systém mikromazání Lubetools dodávaný firmou TriboTec [9]. Tento systém je určen pro aplikace, ve kterých je požadováno dávkování přesného a velmi malého množství maziva. Mazivo je dávkováno a nanášeno na určené místo proudem vzduchu s nízkým tlakem a to bez vzniku olejové mlhy. Pro mazání výrobce doporučuje použití přírodních maziv rozpustných ve vodě. Mazivo se během procesu spotřebuje a není tedy nutné se obávat o jeho škodlivé účinky, a jeho likvidaci. Je samozřejmě dosaženo i vyšší produktivity, protože při zvolení vhodného maziva pak k následnému čištění obrobku postačuje mýdlo a horká voda.

Mezi výhody použití tohoto systému patří například snadné a rychlé nasazení, malá spotřeba maziva, vyšší jakost střižné plochy, delší životnost nástrojů, bezpečnější a čistší pracovní prostředí.

Systém mikromazání LUBETOOLS je znázorněn na obrázku 9. Mezi jeho základní části patří: *nádržka na kapalinu (1), signalizace minimální hladiny (2), zátka plnicího otvoru (3), ventil pro dodávku vzduchu (4), uzavírací ventil s manometrem (5), frekvenční generátor pro řízení cyklu čerpadla (6), vzduchové čerpadlo (7), škrťací ventil průtoku oleje (8), skříň (9), koaxiální vedení (10), tryska (11, 12) a odvzdušnění (13).*



Obr. 9 – Systém mikromazání Lubetools [10]

Z nádržky je pneumatickým čerpadlem dodáváno velmi malé množství maziva do kapilárního potrubí, které je uchyceno uvnitř koaxiální hadice (mazivo i vzduch jsou tedy dopravovány zvlášť jedním vedením). Tato hadice je dovedena k rozprašovací trysce, ve které dochází k mísení směsi, která je následně nanесena na místo stříhu.

Mazivo

Jako maziva pro tváření se používají oleje, na které jsou kladeny požadavky na dobré mazací vlastnosti, pevnost mazacího filmu a dostatečnou přilnavost k povrchu. Tyto oleje samozřejmě nesmí poškozovat povrch nástroje a výrobku, musí lehce přilnout a vytvořit rovnoměrnou vrstvu. Vzhledem použitému systému mazání je vhodné použít ekologicky nezávadné oleje. Níže jsou uvedeny některé oleje, které připadají v úvahu (podle [11]).

Alusol Plus

Tento olej má vysoký chladicí účinek, vysokou penetrační schopnost a výborné mazací vlastnosti. Má schopnost zabraňování vzniku nárůstků čímž příznivě ovlivňuje životnost nástrojů při třískovém obrábění. Tento olej je vhodný také právě pro tváření, protože při tváření, stříhání a postupovém lisování hliníku a jeho slitin nedochází k nalepování

hliníkových částic na nástroj nebo povrch součásti. Tím je zajištěna vysoká kvalita povrchu výrobku a má to opět velmi příznivý vliv na životnost nástroje.

Trisol BTFC

Jedná se o univerzální polysyntetickou, vodou ředitelnou kapalinu, vhodnou zejména pro třískové obrábění. Je vhodná pro obrábění ocelí i barevných kovů. Nezanechává skvrny na povrchu hliníkových slitin.

Biostar Bio Katr EP

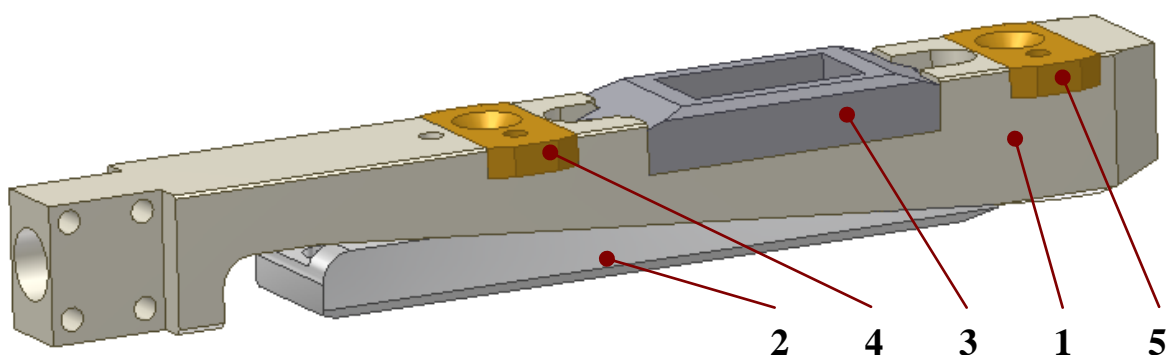
Pro úplnost uvádím také příklad biologicky odbouratelného oleje. V tomto případě se jedná o biologicky odbouratelný olej bez obsahu minerálních olejů. Olej obsahuje vysoce hodnotné přírodní látky, čímž je dosažena optimální výkonnost maziva a také jeho ekologická nezávadnost.

4 Návrhy materiálu pro střížný adaptér

Adaptér slouží k uchycení průstřižnice, jejímu vystředění a upevnění v profilu. Při prostřihávání je zasunut do prostřihávaného profilu na místo stříhu. Adaptéry mohou být pevného, nebo rozpínacího charakteru. Příklad rozpínacího adaptéru je na obrázku 10.

Řešená část adaptéru se skládá z pěti základních součástí (neuvažují spojovací materiál) znázorněných na obrázku 10.

- 1 – Tělo adaptéru - základní část adaptéru, která se upíná k adaptérové tyči.
- 2 – Klín - rozpínací klín, který se před stříhem vysune a rozpne tak adaptér, který je díky tomu pevně uchycen v prostřihovaném profilu.
- 3 – Průstřižnice
- 4 a 5 – Vymezovací deska (vymezovací kámen) – vymezuje adaptér v horizontálním směru v prostřihávaném profilu.



Obr. 10 – Součásti adaptéru

Všechny popsané části adaptéru jsou vyrobeny z nástrojové oceli (podrobnosti v kapitole 4.2), která je velmi těžko obrobitelná. Obrábění je prakticky možné pouze nekonvenčními metodami, jako je například elektroerozivní obrábění. Z tohoto důvodu se snažím nalézt kombinaci materiálů takových, které by snížily náklady na výrobu adaptéru.

4.1 Průběh střížné síly

Střížný adaptér použitý pro výpočet

Pro tuto práci je použit adaptér pro prostřihávání obdélníkového otvoru 15x30 mm do čtvercového profilu TR 4HR 30 x 2 – ČSN EN 10219-2 z materiálu 11 375.

Mechanické vlastnosti materiálu 11 375 podle [12]

$R_e = 196 \text{ MPa}$

$R_m = 380 \text{ MPa}$

Střížná síla

Standardně se střížná síla počítá podle vzorce 4.1, tedy z plochy stříhu a mezi pevnosti ve stříhu. Tato síla je následně zvětšena o koeficient zahrnující různé vlivy (například otupení střížné hrany). Tento výpočet zajistí, že stroj bude dodávat střížnou sílu i s rezervou na tyto vlivy. Tímto způsobem sílu počítat nemohu, protože síla je již dána prostřihávacím strojem. Musím tedy zjistit sílu, která působí v okamžiku dotyku průstřížníku s materiálem prostřihávaného profilu.

Vzorec pro běžný výpočet střížné síly stroje (podle [13]):

$$F_{stř} = S \cdot R_{ms} \cdot k_{stř} \quad (4.1)$$

Kde $k_{stř}$ je koeficient zahrnující různé vlivy zvyšující střížnou sílu, jako je například otupení řezných hran, zvětšená mezery mezi noži opotřebením apod. Koeficient se volí v rozmezí 1,25 až 1,5.

Průběh síly

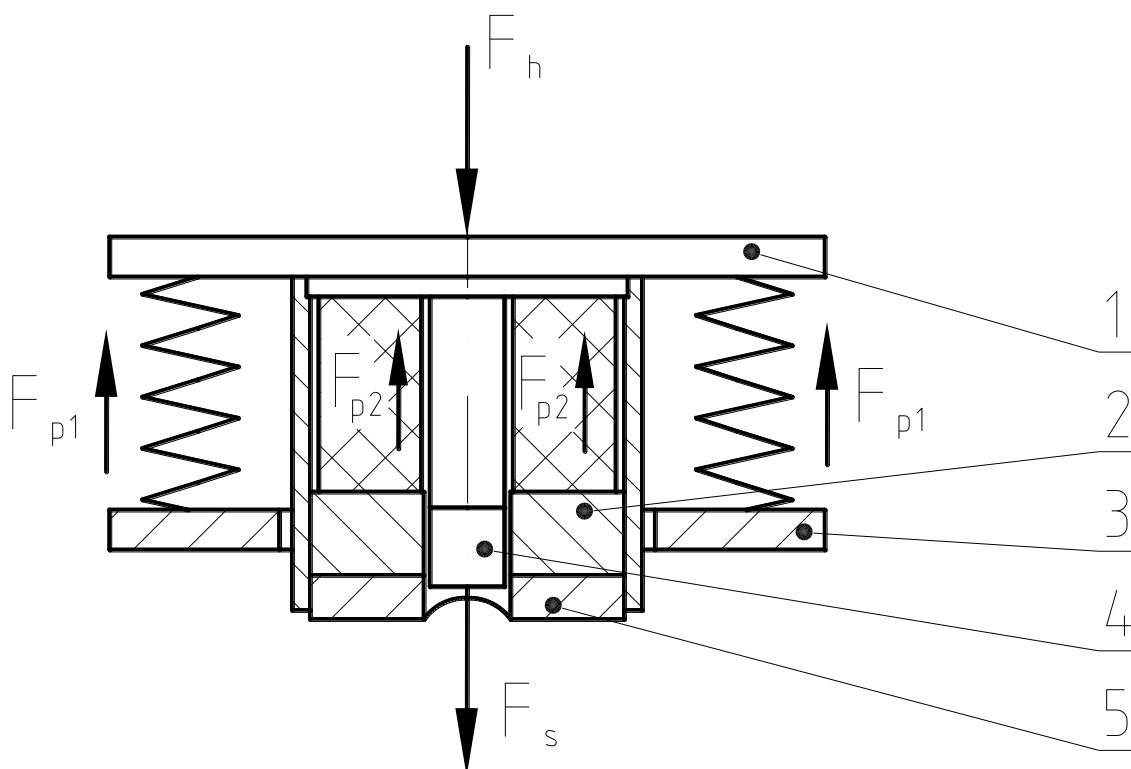
Síla působící na střížnou jednotku F_h je vyvozena hydraulicky a je dána návrhem hydraulického pístu. Podle [14] je tato síla $F_h = 115 \text{ kN}$. Síla střížné jednotky je snížena o vlivy pružin (direkční síly F_{p1}) a při stříhu je ještě tlumena pryžovým blokem (direkční síla F_{p2}). Působící síly jsou znázorněny na obrázku 11, který je zjednodušeným schématem střížné jednotky. Obrázek střížné jednotky je uveden ve zvláštní dokumentaci [24].

Popis schématu na obr. 11:

- 1 – horní deska, na kterou působí síla F_h od hydraulického pístu
- 2 – tělo strhávače
- 3 – střední deska, ke které jsou uchyceny vymežovací prvky, pro pevné ustavení profilu
- 4 – průstřížník, který působí na materiál střížnou silou F_s
- 5 – deska strhávače, její spodní plocha je při stříhu v dotyku s profilem

V první části zdvihu se pohybuje celá střížná jednotka dolů, dokud se vymežovací prvky uchycené ke střední desce nedotknou prostřihávaného profilu (znázorněno na obr. 12). Pokračujícím působením síly F_h se začnou stlačovat pružiny a dojde k bočnímu

ustavení profilu. V tomto okamžiku začnou působit směrné síly F_{p1} od těchto pružin. Následuje další část zdvihu, při které se deska strhávače dotkne horní stěny profilu (prošťovaná stěna profilu). V tomto okamžiku se začne stlačovat polymerový blok (začne působit směrná síla F_{p2}) a v následující části zdvihu je vysunut průstřížník a dojde k prostříhnutí.



Obr. 11 – Působení sil ve zjednodušeném schématu střížné jednotky

Parametry pružin

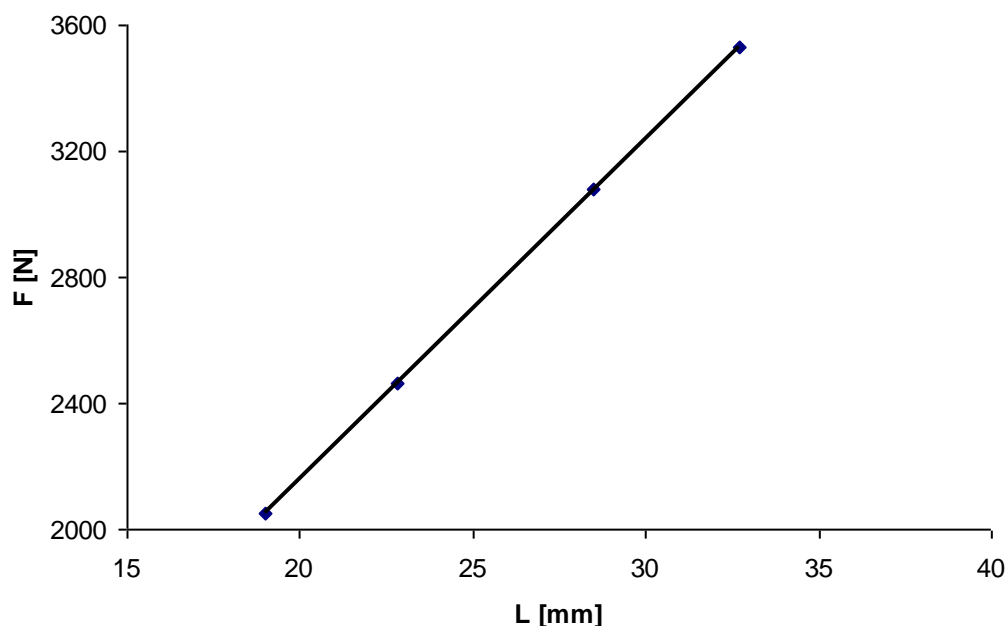
Jedná se o dvě stejné pružiny určené pro lisovací stroje, jejichž výrobcem je firma Special Springs [15] a u nás je dodává Eichler. Ve střížné jednotce jsou použity pružiny B 40 – 076, jejichž parametry jsou uvedeny v tabulce 3. Průběh směrné síly, vyjádřený rovnicí 4.2 je znázorněn na obrázku 12. Ve výchozím stavu je pružina stlačena o 6 mm (to vyplývá z konstrukce střížné jednotky).

Tab. 3 – parametry použitých pružin

k_p	108 N.mm^{-1}
L_0	76 mm
$L_{25\%}$	19 mm
$L_{30\%}$	22,8 mm
L_{MAX}	32,7 mm

Rovnice zatěžovací křivky:

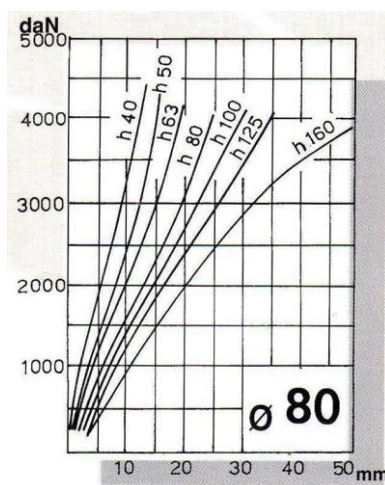
$$F = 108 \cdot L \quad (4.2)$$



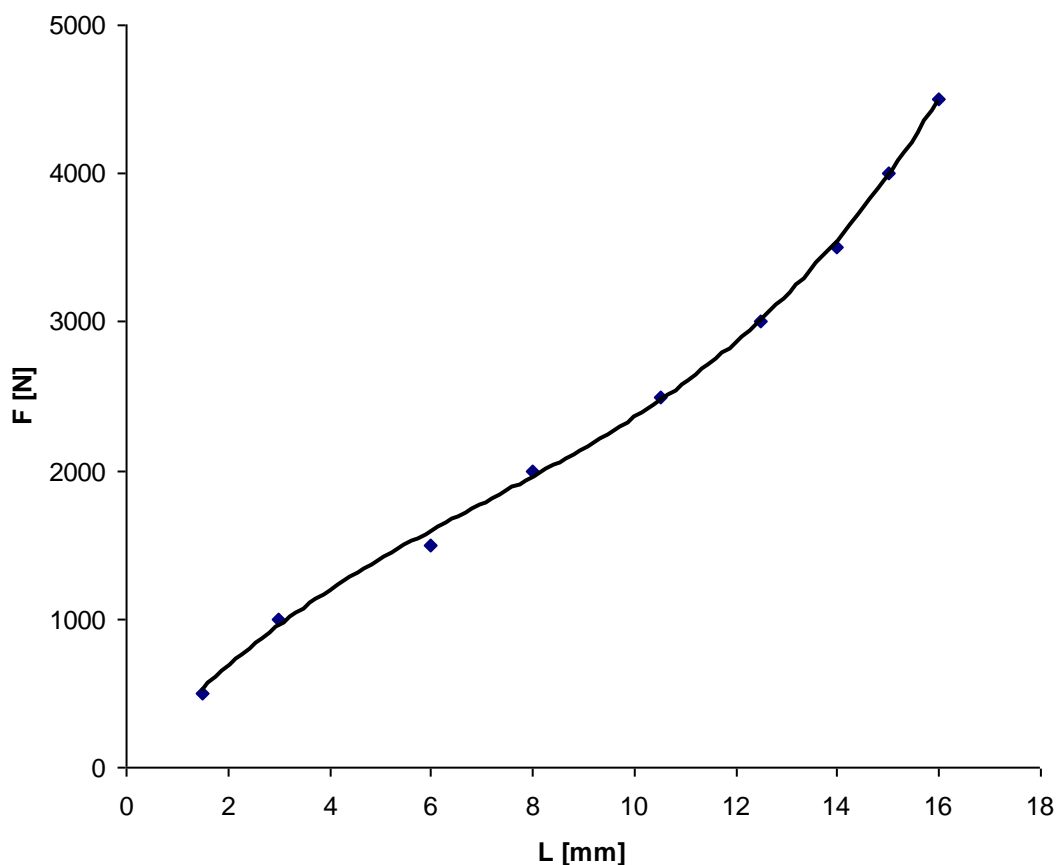
Obr. 12 – Zatěžovací křivka

Parametry pryžového bloku

Pryžový blok je z materiálu Adipol 90, vyrábí jej A.E.M. [16] a dodává Eichler. Zatěžovací křivky dle výrobce jsou na obr. 13. Na uvedeném diagramu jsou použity jednotky daN, přičemž $1 \text{ daN} = 10 \text{ N}$. Křivku pro typ MF80X50 jsem zpracoval v programu Excel a stanovil rovnici regrese. Křivka má polynomickeý charakter třetího stupně s regresní rovnicí 4.3, a je uvedena na obr. 14.



Obr. 13 – zatěžovací křivky polymerových bloků podle [16]

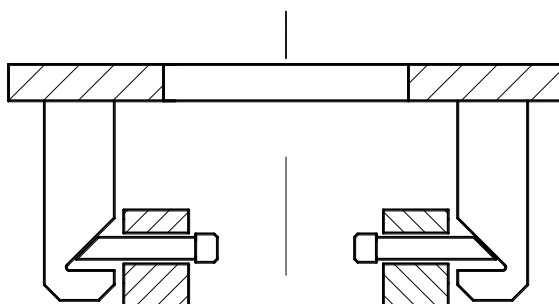


Obr. 14 – Zatěžovací křivka polymerového bloku MF80X50

Rovnice zatěžovací křivky:

$$F = 1,5226 \cdot L^3 - 32,148 \cdot L^2 + 406,72 \cdot L - 24,202 \quad (4.3)$$

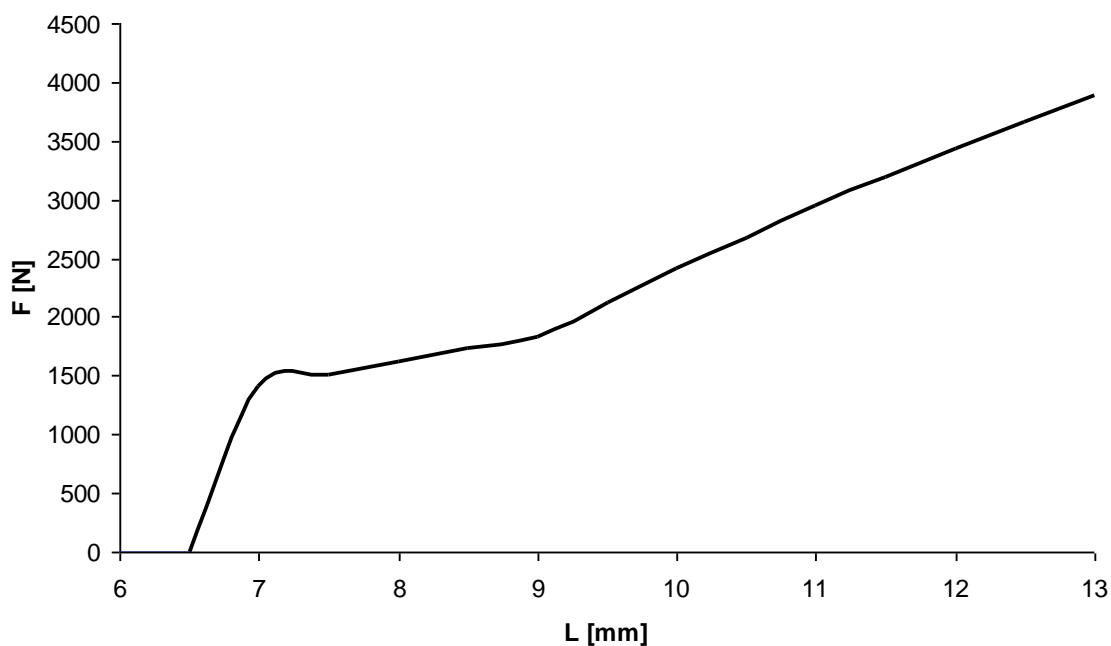
Výsledná střížná síla



Obr. 15 – Boční upnutí

Na obrázku 15 je schematicky znázorněno, jak pracuje boční upnutí. Pohyb mechanismu je převáděn kulisou pod úhlem 45°, takže poměr pohybů je 1. Podle změřených hodnot [14] urazí kulisa dráhu 6,5 mm, než dojde k upnutí materiálu. Toto je

tedy i dráha, kterou urazí střižná jednotka, než začne působit směrová síla v pružinách. Dále bylo změřeno, že deska strhávače urazí dráhu 9 mm, než dojde k dotyku s materiálem. Následně se pohybuje jen střižník, který urazí dráhu 4 mm, do okamžiku kontaktu s materiálem. Pružiny budou tedy navíc stlačeny o 13 mm, přičemž poslední 4 mm zdvihu je stlačován i polymerový blok, který vyvozuje směrovou sílu F_{p2} . Celková síla vyvozená pružinami a polymerovým blokem je znázorněna na obr. 16.



Obr. 16 – Celkový odpor pružin a polymerového bloku

Síla v okamžiku přestřižení

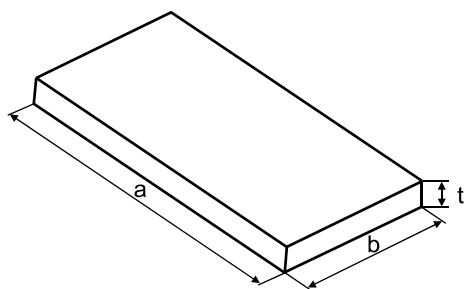
Tato síla závisí na ploše stříhu (4.2) a na mezi pevnosti ve stříhu (4.3). Vypočítá se podle vzorce 4.4.

Střižná plocha:

$$S = (2 \cdot a + 2 \cdot b) \cdot t \quad (4.4)$$

kde $a = 30$ mm, $b = 15$ mm a $t = 2$ mm podle obr. 17. Dosazením do 4.2 tedy dostaneme plochu stříhu.

$$S = (2 \cdot 30 + 2 \cdot 15) \cdot 2 = 180 \text{ mm}^2$$



Obr. 17 – Plocha stříhu

Mez pevnosti materiálu ve stříhu:

$$R_{ms} = 0,8 \cdot R_m \quad (4.5)$$

$$R_{ms} = 0,8 \cdot 380 = 304 \text{ MPa}$$

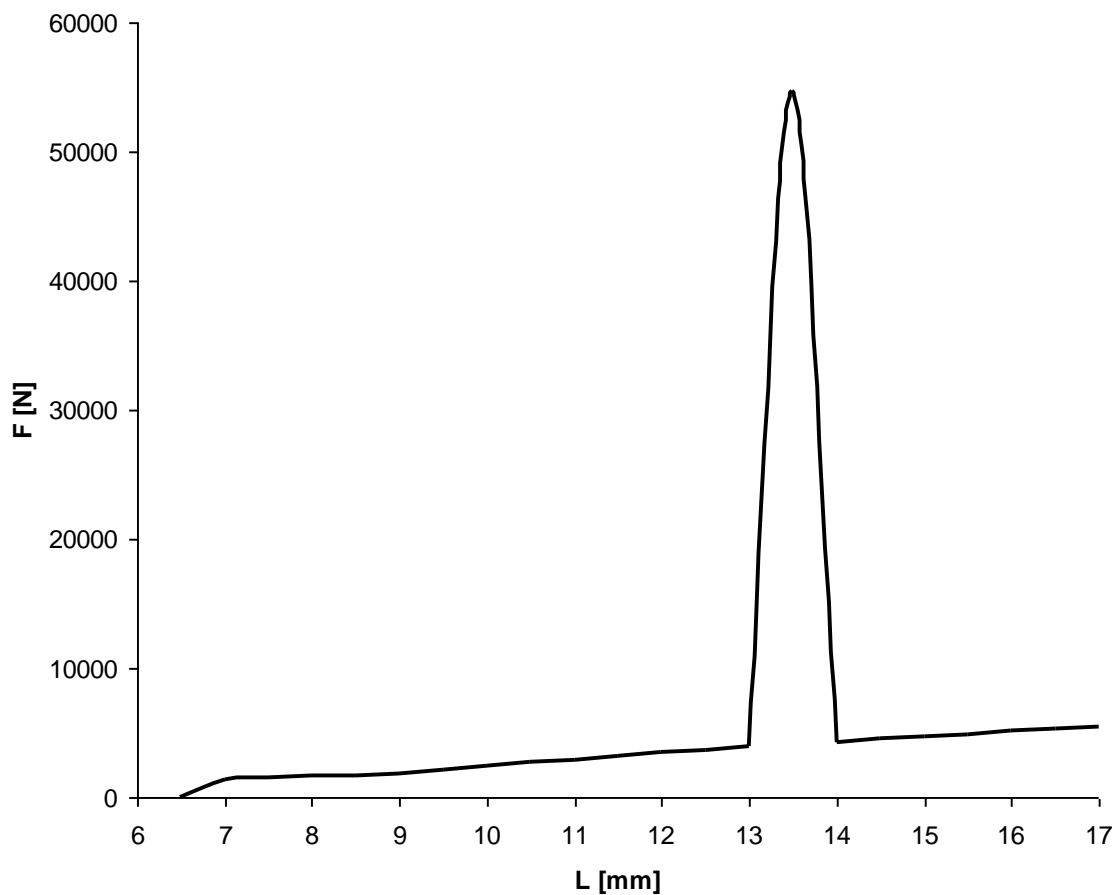
Síla v okamžiku stříhu:

$$F_s = S \cdot R_{ms} \quad (4.6)$$

$$F_s = 180 \cdot 304 = 54720 \text{ N}$$

Výsledný průběh střížné síly

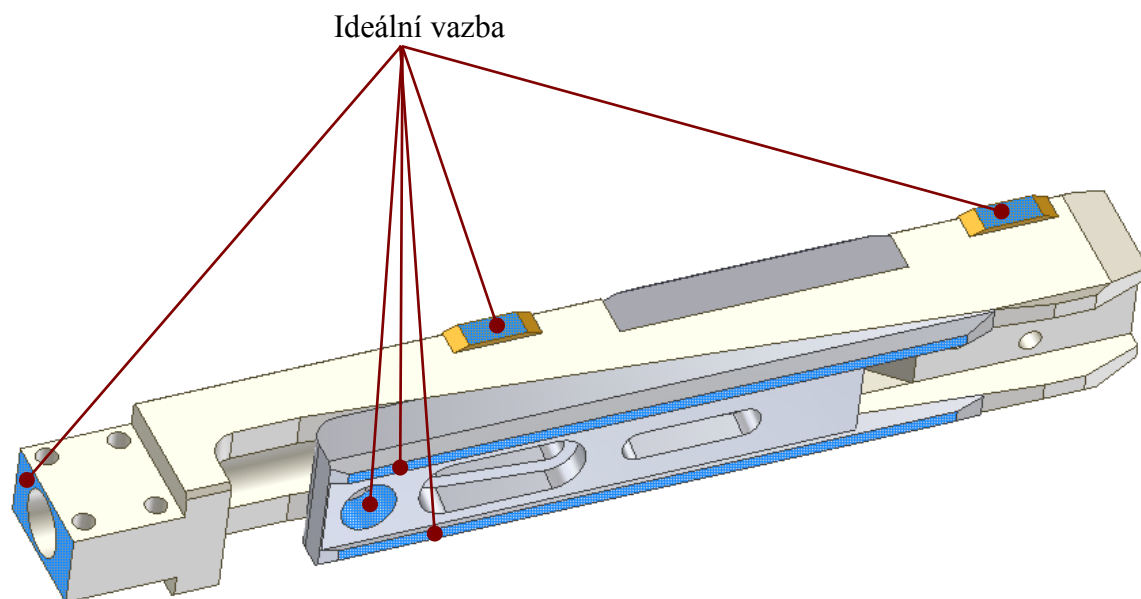
Jak je vidět z obr. 18, největší velikost má síla v okamžiku stříhu – tedy $F_s = 54720 \text{ N}$.



Obr. 18 – Výsledný průběh střížné síly

4.2 Okrajové podmínky pro výpočet MKP






Výpočet jsem provedl v programu Inventor 2010, který je již schopen počítat metodou konečných prvků celé sestavy strojních součástí. Vazby byly nastaveny podle obrázku 19, čímž byly odebrány všechny stupně volnosti tělesa. Inventor má kromě běžné pevné vazby, která odebere všechny stupně volnosti i vazbu ideální, která je v podstatě variantou pevné vazby s tím, že odebere stupně volnosti pouze ve směru kolmém k vyznačené rovině. Její použití je rychlejší než nastavovat pro pevnou vazbu vektory pro odebrání stupňů volnosti.





Obr. 19 – Nastavení vazeb

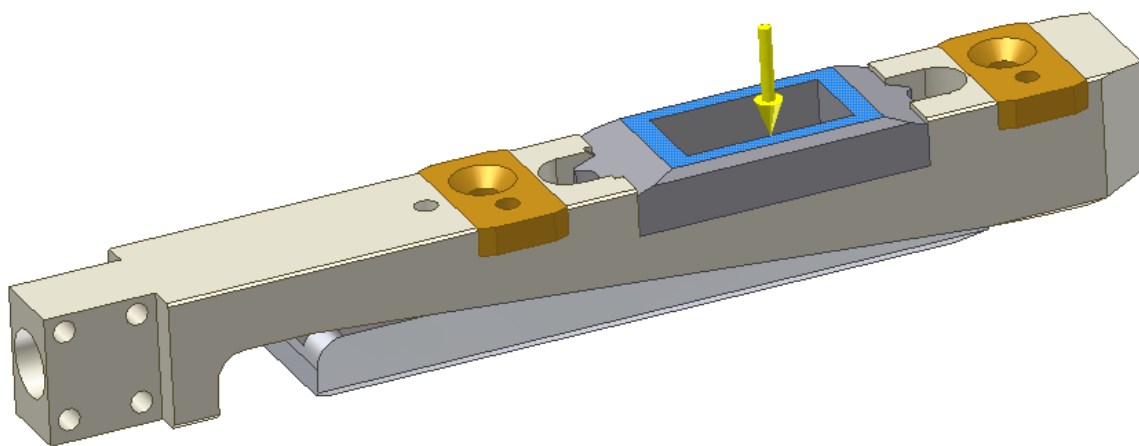
Dále jsem změnil nastavení dotyků. Při automatickém vytvoření dotyků Inventor vytváří dotyky *Vázané*. U dotyku vymezovacích desek s tělem adaptéru je to postačující, ale u dotyku mezi tělem a průstřižnicí, a také u dotyku klínu s tělem adaptéru jsem nastavil dotyk *Posouvání / Bez oddělení*. Typy dotyků jsou vysvětleny v tabulce 4.

Tab. 4 – Typy dotyků dostupné v programu Inventor podle [17]

	Vázaný	Váže dotykové plochy pevně k sobě. Plochy se chovají jako by byly slepené nebo přivařené.
	Separace	Při posunu umožňuje částečné nebo úplné oddělení ploch. K jejich průniku nedojde.
	Posuvný / bez separace	Umožňuje posun ploch vůči sobě. Zamezuje však jejich oddělení.
	Separace/bez posouvání	Oddělí dotykové plochy částečně nebo zcela bez jejich vzájemného posunu.
	Přizpůsobit zmenšením / posuvný	Poskytuje stejné podmínky jako dotyk Separace, počáteční součásti se ale překrývají.

	Přizpůsobit zmenšením / bez posouvání	Poskytuje stejné podmínky jako dotyk Separace/bez posouvání, počáteční součásti se ale překrývají.
	Pružina	Vytvoří ekvivalentní pružiny mezi dvěma plochami. Je možné definovat kolmou nebo tangenciální tuhost.

Zatížení bylo pro každý výpočet zadáno jako síla $F_s = 54720\text{N}$ působící na vyznačenou plochu průstřižnice – viz. obrázek 20. To je ekvivalentní možnosti zadání tlaku, který na dané ploše střížná síla vyvolá (Inventor si provede přepočet).

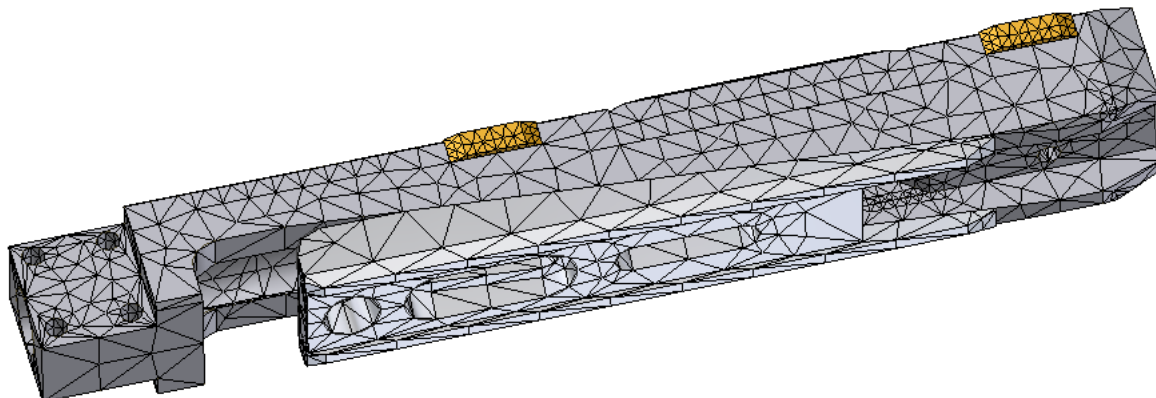


Obr. 20 – Zatížení průstřižnice

Náhled na vygenerovanou síť je na obrázku 21. Ve starších verzích Inventoru byla možnost vygenerovat síť s požadavkem na sbíhavost výsledku. Tato volba zajistila (na úkor doby provedení) optimalizaci sítě s ohledem na problematická místa na součásti. V místech se zvýšeným napětím pak bylo provedeno zmenšení prvků a tedy zhuštění sítě.

Podle [18] Inventor 2010 používá pro pevnostní výpočty trojúhelníkové sítě s tzv. p-zjemněním a h-zjemněním. Nastavení pro parametr p se nedá nastavit, ale pro upřesnění h ano. V první části pevnostního výpočtu využívá Inventor pouze p-zjemnění (lineární a kvadratické). V dalších krocích může využívat i h-zjemnění. Jeho použití závisí na nastavení parametru *Maximální počet upřesnění h* na kartě v nastavení pevnostní analýzy. Hodnoty větší než 0 povolí h-zjemnění. Položka *Maximální počet upřesnění h* tedy nastavuje počet kroků upřesnění. Výchozí hodnota je 0, ale obecně se podle [17] doporučuje používat hodnoty 3, nebo 4. Pro výpočty jsem použil hodnoty 4.

Parametr *Práh upřesnění h* určuje, kde bude zjemňována geometrie sítě. Hodnoty blíží se 1 nastaví zjemnění pouze pro prvky v bezprostřední blízkosti problematického místa a ostatní prvky ponechá beze změn. Hodnoty blízké 0 naopak zmenší i prvky daleko od problematického místa, což může vést k problémům s výkonem.



Obr. 21 – Vygenerovaná síť

S uvedeným nastavením vazeb, zatížení a sítě byly provedeny všechny výpočty, při kterých se již měnil jen použitý materiál.

4.3 Stávající materiál a jeho vlastnosti

Stávající stav je takový, že všechny řešené části adaptéru jsou vyrobeny z materiálu 19 312, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce 5.

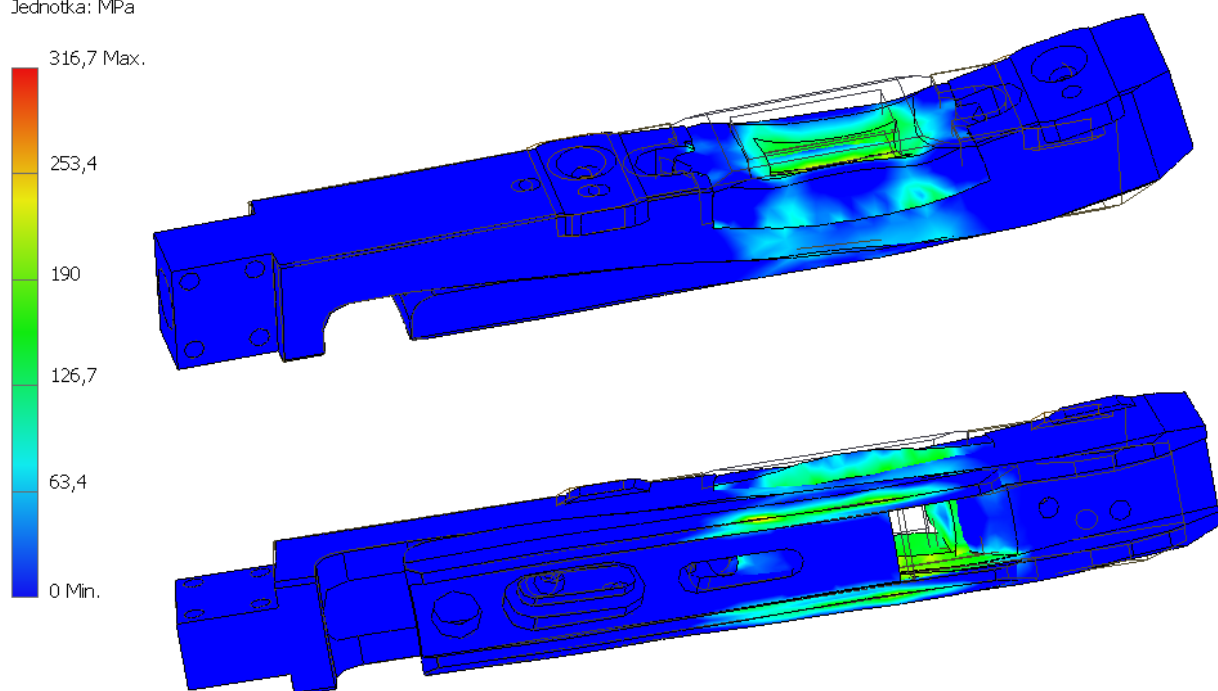
Materiál 19 312 je nástrojová ocel, uhlíková, nízkolegovaná. Má dobrou odolnost proti opotřebení, tvárnost za tepla a obrobiteľnosť je po žihání dobrá. Je vhodný na nástroje pro stříhání za studena a dále pro nástroje lisů, nože, nůžky, nástroje na ohýbání, apod.

Tab. 5 - Vlastnosti materiálu ČSN 19 312

Hustota	ρ	7850 kg.m ⁻³
Modul pružnosti v tahu	E	206,7 GPa
Poissonova konstanta	μ	0,27
Mez kluzu	R _e	735 MPa
Mez pevnosti	R _m	980 MPa

Výsledek výpočtu MKP je na obr. 22, kde jsou zobrazena napětí dle hypotézy HMM. Maximální napětí je 316,7 MPa, což podle výpočtu 4.7 odpovídá bezpečnosti 2,32. Vypočítaná bezpečnost tedy vyhovuje.

Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa



Obr. 22 – Rozložení napětí na adaptéru

Výpočet bezpečnosti

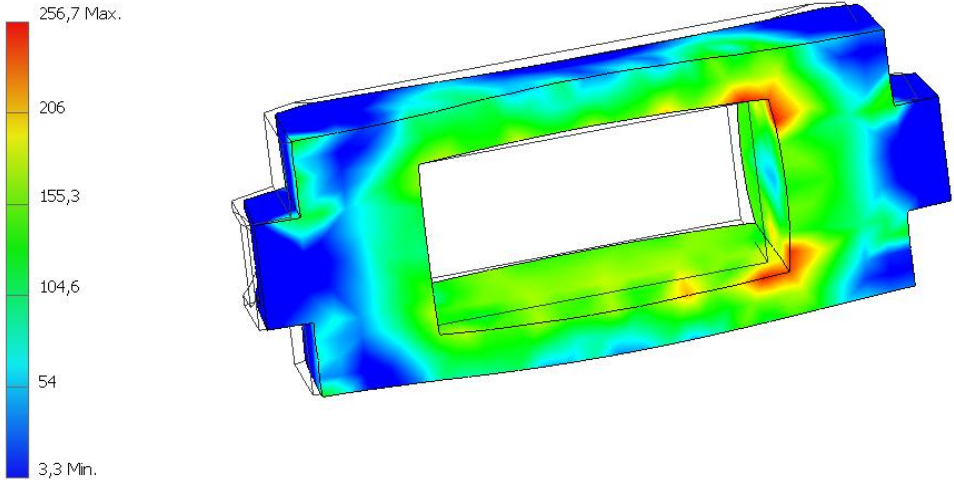
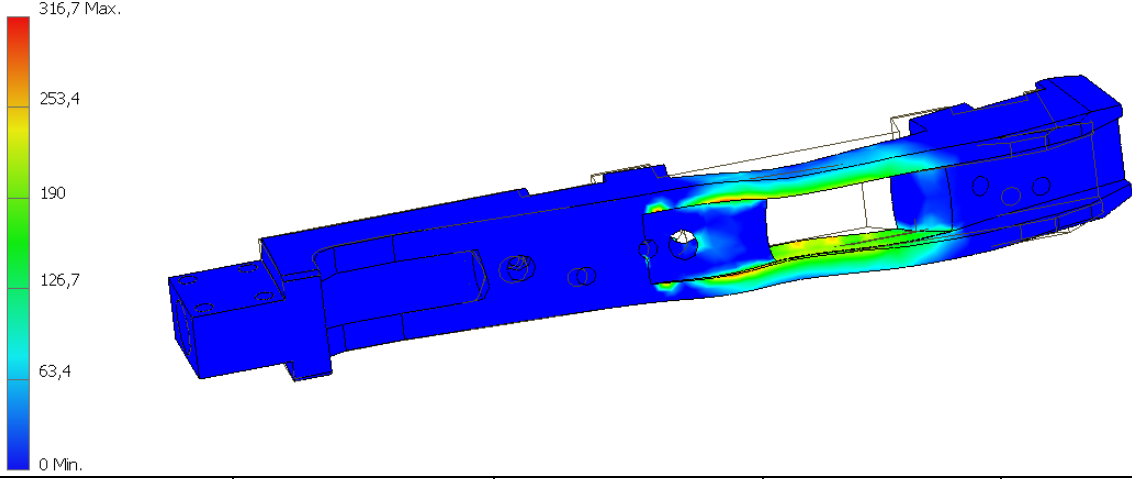
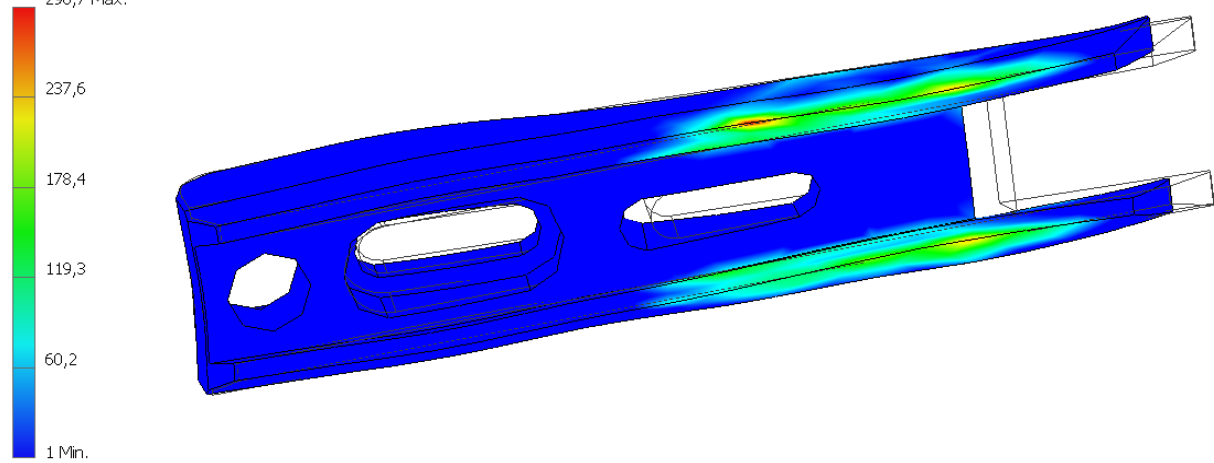
$$k = \frac{R_e}{\sigma} \quad (4.7)$$

$$k = \frac{735}{316,7} = 2,32$$

Nejvíce namáhanými součástmi jsou průstřižnice, tělo adaptéru a klín. Místa s největším napětím jsou znázorněna na obrázcích v tabulce 8. Je uvedeno i maximální napětí a jemu odpovídající bezpečnost.

Pro snížení napětí na těle adaptéru a na klínu jsem ještě zkoušel provést zaoblení některých hran, ale výsledek se nezlepšil. Další úpravy by nebylo vhodné provádět z důvodu zvýšení výrobních nákladů.

Tab. 6 – Napětí na jednotlivých součástech

Průstřižnice	Materiál: 19 312	$\sigma_{\max} = 256,7 \text{ MPa}$	Re = 735 MPa	k = 2,86
<p>Typ: Napětí Von Mises Jednotka: MPa</p> 				
Tělo adaptéru	Materiál: 19 312	$\sigma_{\max} = 316,7 \text{ MPa}$	Re = 735 MPa	k = 2,32
<p>Typ: Napětí Von Mises Jednotka: MPa</p> 				
Klín	Materiál: 19 312	$\sigma_{\max} = 296,7 \text{ MPa}$	Re = 735 MPa	k = 2,48
<p>Typ: Napětí Von Mises Jednotka: MPa</p> 				

Těleso adaptéru není kriticky namáháno, proto by se dalo vyrobít z materiálu s nižší pevností. Podobně i klín, který je navíc namáhán otěrem při posuvu adaptéru v profilu. Vymezovací desky jsou namáhány pouze otěrem při posouvání adaptéru v profilu, proto by pro ně stačila ocel nižší třídy s vhodnou tepelnou úpravou pro zvýšení tvrdosti.

4.4 Mechanické vlastnosti vybraných ocelí

Pro výsledný výběr jsem vybral některé materiály, u kterých předpokládám dostatečné mechanické vlastnosti. Vlastnosti uvedených materiálů jsou převzaty z [12] a [19]. Pro výpočet metodou konečných prvků jsou dále potřeba hodnoty uvedené v tabulce 7.

Tab. 7 – Mechanické vlastnosti ocelí

Hustota	ρ	7850 kg.m ⁻³
Modul pružnosti v tahu	E	210 GPa
Poissonova konstanta	μ	0,27

16 420.4

Ocel vhodná k cementování, pro velmi namáhané strojní součásti s vysokou pevností a houževnatostí v jádře.

$$R_e = 540 \text{ MPa}$$

$$R_m = 780 \text{ MPa}$$

16 343.6

Ocel vhodná k zušlechťování, pro velké výkovky, žárovevné, náročné díly, turbínová kola, kloubové hřídele.

$$R_e = 635 \text{ MPa}$$

$$R_m = 890 \text{ MPa}$$

16 220.4

Ocel vhodná k cementování, pro velmi namáhané součásti s cementovaným povrchem a vyšší pevností v jádře. Ozubená kola převodovek, namáhané čepy.

$$R_e = 500 \text{ MPa}$$

$$R_m = 890 \text{ MPa}$$

15 260.6

Ocel vhodná k zušlechťování. Velmi namáhané součásti, hřídele, čepy, poloosy, pístnice, šrouby.

$$R_e = 590 \text{ MPa}$$

$$R_m = 880 \text{ MPa}$$

15 241.6

Ocel vhodná k zušlechťování, k povrchovému kalení. Součásti s vysokou pevností a tažností, ozubená kola, hřídele kol.

$$R_e = 588 \text{ MPa}$$

$$R_m = 850 \text{ MPa}$$

14 340.6

Ocel vhodná k nitridování. Součásti s největší povrchovou tvrdostí.

$$R_e = 588 \text{ MPa}$$

$$R_m = 850 \text{ MPa}$$

14 220.4

Ocel vhodná k cementování a ke kyanování. Ocel je dobře tvařitelná za tepla, dobře obrobitelná. Vhodná pro strojní součásti pro zušlechtění k cementování s velmi tvrdou, cementovou vrstvou s velkou pevností v jádře, pro sériovou výrobu strojních součástí. Svařitelnost dobrá.

$$R_e = 440 \text{ MPa}$$

$$R_m = 780 \text{ MPa}$$

12 061.6

Konstrukční ocel nelegovaná k zušlechťování. Vhodná na klikové a výstředníkové hřídele, osy, ozubená kola, čepy, šrouby, matice, apod. Svařitelnost je obtížná.

$$R_e = 380 \text{ MPa}$$

$$R_m = 690 \text{ MPa}$$

12 060.6

Konstrukční ocel nelegovaná k zušlechťování. Vhodná na hřídele turbokompresorů, zalomené hřídele, ozubená kola, věnce, pístnice, čepy, apod. Svařitelnost je obtížná.

$$R_e = 365 \text{ MPa}$$

$$R_m = 660 \text{ MPa}$$

4.5 Volba kombinace materiálů a zhodnocení

Jako vhodné se mi zdá použít pro tělo adaptéru a klín materiál třídy 14, který má dostatečné mechanické vlastnosti a pro vymežovací desky materiál třídy 12. Konkrétně jsem tedy provedl výpočet pro kombinaci materiálů uvedenou v tabulce 8.

Tab. 8 – Zvolené materiály součástí

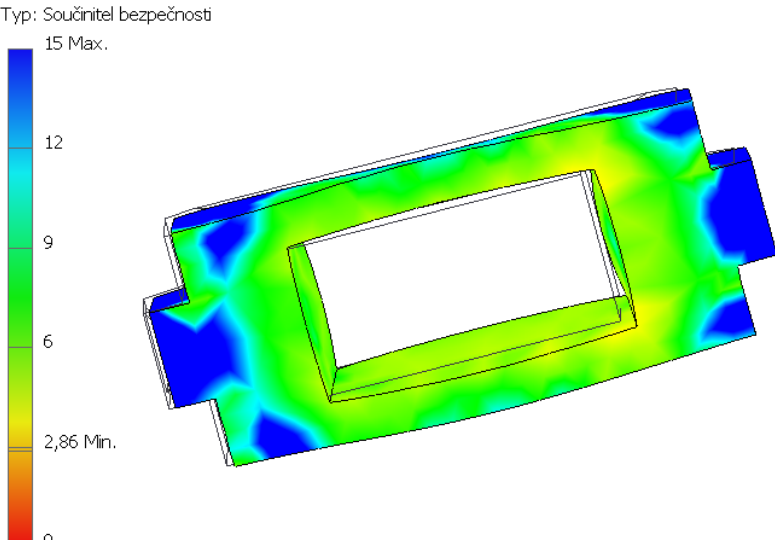
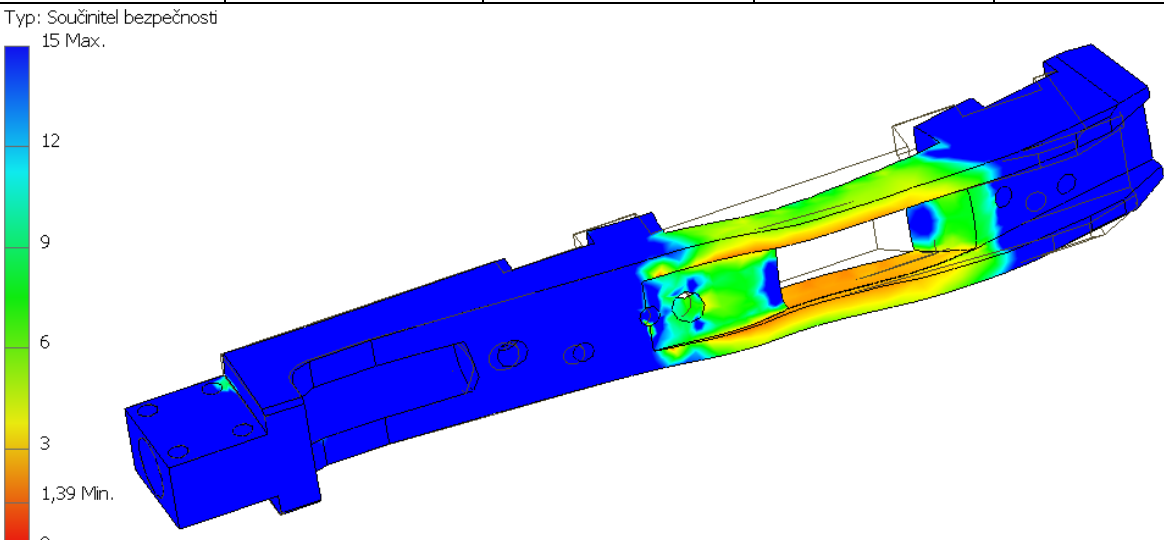
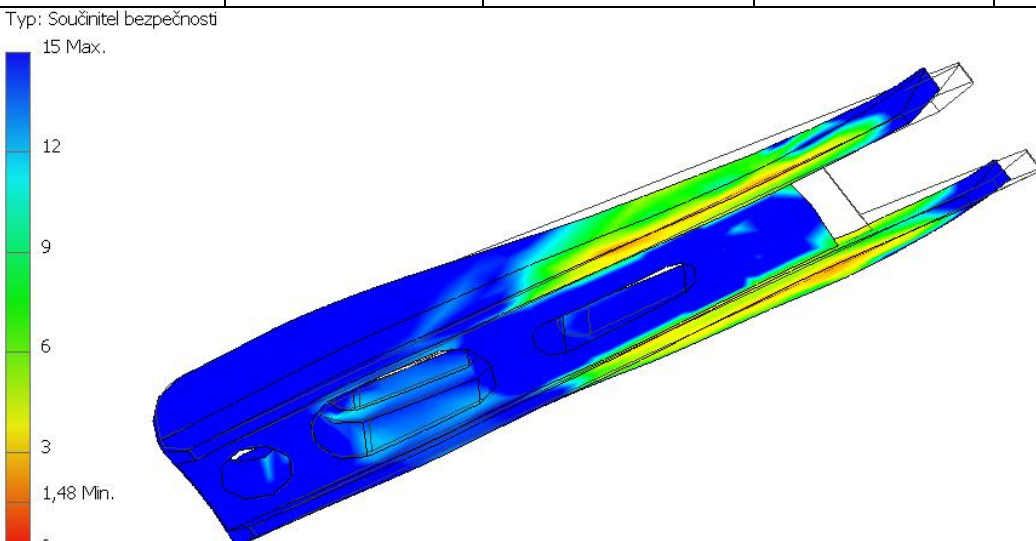
Tělo adaptéru	14 220
Průstřižnice	19 312
Klín	14 220
Vymežovací desky	12 061

Po změně materiálu zůstává rozložení napětí stejné, jako na obrázku 22. Součinitele bezpečností se snížily na hodnoty uvedené v tabulce 9. Obrázky uvedené v tabulce zobrazují, jak je rozložena bezpečnost vůči mezi kluzu v jednotlivých místech součástí. Nejmenší bezpečnost je $k = 1,39$.

Navržená kombinace materiálů by měla zajistit dostatečnou pevnost adaptéru. Jeho životnost však nelze dopředu určit bez provedení únavových zkoušek.

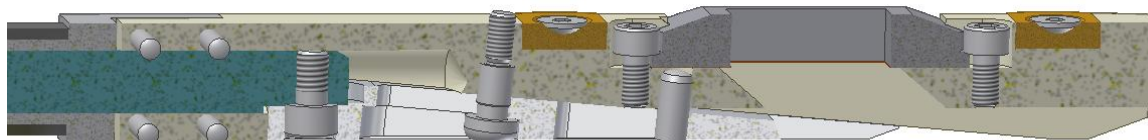
Při použití navržených materiálů předpokládám snížení ceny za materiál, ale i za jeho zpracování. Pro obrábění materiálu třídy 14 je možné využít konvenční metody, čímž se náklady na výrobu sníží. Navržené řešení tedy považuji za dobré. Je na zvážení firmy ELVAC AUTOMATION, zda je změna materiálu celkově ekonomicky výhodná. Záleží samozřejmě na objemu výroby a případných nákladech, na změnu technologie obrábění, které nemohu posoudit.

Tab. 9 – Bezpečnost jednotlivých součástí

Průstřižnice	Materiál: 19 312	$\sigma_{\max} = 256,7 \text{ MPa}$	Re = 735 MPa	k = 2,86
<p>Typ: Součinitel bezpečnosti</p> 				
Tělo adaptéru	Materiál: 14 220	$\sigma_{\max} = 316,7 \text{ MPa}$	Re = 440 MPa	k = 1,39
<p>Typ: Součinitel bezpečnosti</p> 				
Klín	Materiál: 14 220	$\sigma_{\max} = 296,7 \text{ MPa}$	Re = 440 MPa	k = 1,48
<p>Typ: Součinitel bezpečnosti</p> 				

5 Konstrukční řešení střížného adaptéru

Dalším bodem této práce je návrh možných způsobů horizontálního vystředění adaptéru v prostřihovaném profilu. Vzhledem k tvaru a velikosti (řez současným adaptérem je na obrázku 23) je možné provést pouze minimální zásahy do konstrukce těla adaptéru. Každý zásah navíc prodražuje výrobu. Pro řešení je použit stejný adaptér, který je uveden v kapitole 4.1.



Obr. 23 – Řez současným adaptérem

Cílem návrhu bylo zajistit vymezení adaptéru při co nejmenším zásahu do stávající konstrukce těla adaptéru. Vymezovací desky tedy musí být rozděleny a jejich poloha vůči adaptéru musí být nějakým způsobem vymezena.

5.1 Stávající řešení

Stávající konstrukce adaptéru řeší jeho vertikální rozepnutí posunutím klínu. Horizontálně se adaptér nerozpíná a ustavení je řešeno vymezovacími deskami, které jsou přibroušeny dle rozměru prostřihávaného profilu a napevno přichyceny k tělu adaptéru.

Profily určené k prostřihávání jsou vyráběny v různých tolerancích, které se navíc liší v závislosti na výrobcí. Při použití stejného adaptéru pro různé profily by tedy mohlo dojít ke vzniku vůlí mezi vymezovacími deskami a stěnami profilu. Aby se tomuto zamezilo, je nutné vymezovací desky přibrušovat a vyrábět nové pro různé série profilů. Ukázka vyrobených adaptérů je na obrázku 24. Jedná se o pevné adaptéry bez rozpínání pro prostřihávání kruhových otvorů do obdélníkového profilu (oba levé adaptéry) a do trubky (pravý adaptér).

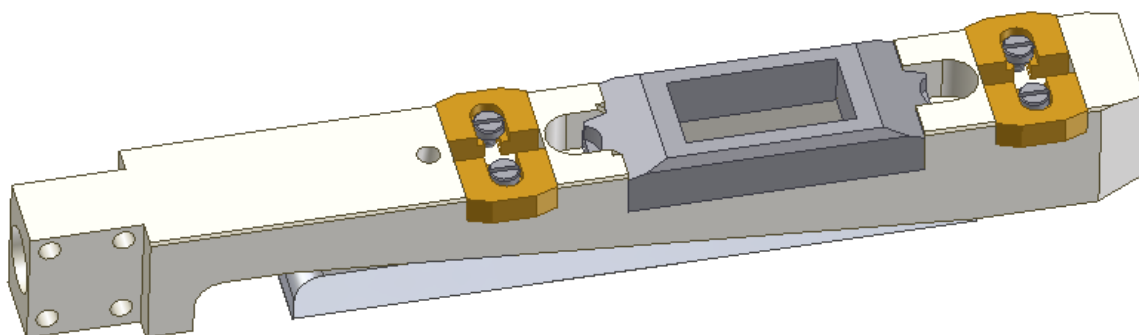


Obr. 24 – Ukázka vyrobených pevných adaptérů

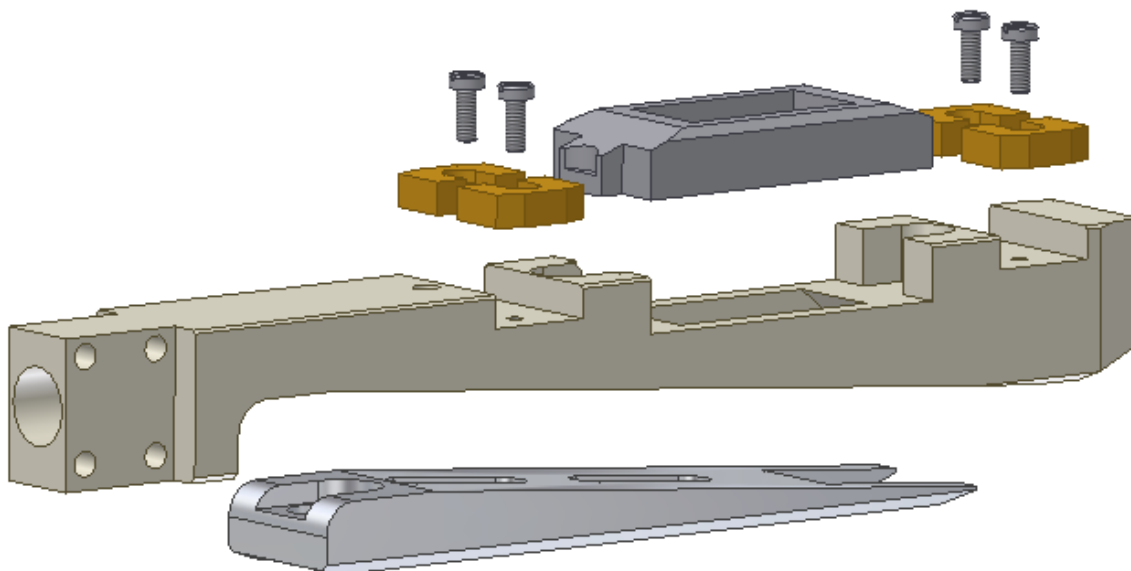
Nevýhodou stávajícího konstrukčního řešení adaptéru je tedy nutnost úpravy vymežovacích desek. Jedním z cílů této práce je navrhnout řešení tohoto problému.

5.2 Návrh 1 – pevné uchycení

Tato varianta je založena na nutnosti přesného ustavení vymežovacích kamenů dle použitého profilu a jejich následném upevnění pomocí šroubu. Hrubým pískováním spodní plochy kamenů je docíleno většího tření mezi povrchy. Nevýhodou tohoto řešení je, že v případě dovnitř zborcené stěny profilu, může dojít k překročení síly, kterou je šroubový spoj schopen přenést. Opačným případem může být vyboulení stěny, kdy nastane vůle mezi adaptérem a profilem. Toto řešení je tedy vhodné pro přesnější profily.



Obr. 25 – Pevné uchycení vymežovacích desek



Obr. 26 – Jednotlivé součásti návrhu

Aby se únosnost šroubového spoje zvýšila, doporučuji provést pískování, nebo jiný způsob zdrsňení spodní plochy vymezovacích kamenů a protilehlé plochy na těle adaptéru. Tímto je podle [20] možné dosáhnout koeficientu tření mezi plochami $f = 0,5$ a více. Vzhledem k velikosti součástí volím šroub M3. Níže je uveden výpočet maximální síly, kterou je šroub schopen přenést.

Rozměry závitu podle [21]:

$$d = 3 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2,675 \text{ mm}$$

$$d_3 = 2,387 \text{ mm}$$

$$P_h = 0,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Osová síla ve šroubu:

Osovou sílu stanovím přibližným výpočtem z pevnostní podmínky pro prosté tlakové namáhání, které je navýšeno o koeficient β . Tento koeficient zohledňuje vliv zatím neznámého krutu na výsledné namáhání.

$$\beta_k = 1,3 \text{ (koeficient zohledňující namáhání krutem, podle [22])}$$

$$\beta_k \cdot \sigma_t \leq \sigma_{dov} \quad (5.1)$$

Po dosazení vztahu pro výpočet tlakového namáhání 5.2 a vztahu pro výpočet dovoleného napětí 5.3 získám výslednou pevnostní podmínku 5.4, ze které vypočítám osovou sílu 5.5.

$$\sigma_t = \frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot d_3^2} \quad (5.2)$$

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k_s} \quad (5.3)$$

$$\beta_k \cdot \frac{4 \cdot F_O}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{R_e}{k_s} \quad (5.4)$$

$$F_O = \frac{R_e \cdot \pi \cdot d_3^2}{4 \cdot \beta_k \cdot k_s} \quad (5.5)$$

Mez kluzu je u šroubu dána jeho pevnostní třídou. Předpokládám použití obyčejného šroubu pevnostní třídy 3.6. Koeficient statické bezpečnosti k_s volím poněkud vyšší vzhledem k přibližnému charakteru výpočtu.

$$k_s = 1,8$$

$$R_e = 3 \cdot 6 \cdot 10 = 180 \text{ MPa}$$

$$F_O = \frac{180 \cdot \pi \cdot 2,387^2}{4 \cdot 1,3 \cdot 1,8} = 344 \text{ N}$$

Pevnostní kontrola šroubu:

Pevnostní kontrola závitu šroubu je provedena standardním postupem podle [20]. Pro pevnostní kontrolu je nejprve nutné spočítat moment tření v závitu podle vzorce 5.6, do kterého se dosadí úhel stoupání závitu ψ a redukovaný třecí úhel φ' .

$$M_{TZ} = F_O \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} \quad (5.6)$$

$$\gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,5}{\pi \cdot 2,675}\right) = 3,405^\circ \quad (5.7)$$

$$\varphi' = \operatorname{arctg}\left(\frac{f_z}{\cos \alpha / 2}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,2}{\cos 60 / 2}\right) = 13,004^\circ \quad (5.8)$$

$$M_{TZ} = 344 \cdot \operatorname{tg}(3,405 + 13,004) \cdot \frac{2,675}{2} = 135,5 \text{ Nmm}$$

Osová síla a moment tření v závitu se dosadí do vzorců pro výpočet napětí v tahu od osově síly (5.9) a krutu od utažení (5.10).

$$\sigma_t = \frac{4 \cdot F_O}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 344}{\pi \cdot 2,387^2} = 76,9 \text{ MPa} \quad (5.9)$$

$$\tau = \frac{16 \cdot M_{TZ}}{\pi \cdot d_3^3} = \frac{16 \cdot 135,5}{\pi \cdot 2,387^3} = 50,7 \text{ MPa} \quad (5.10)$$

Z výsledných napětí se stanoví redukované napětí podle Guestovy hypotézy.

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad (5.11)$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{76,9^2 + 4 \cdot 50,7^2} = 127,3 \text{ MPa}$$

Koeficient skutečné bezpečnosti se počítá opět vůči mezi kluzu.

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{RED}} = \frac{180}{127,3}$$

$k = 1,4$ Vyhovuje
 Výsledná bezpečnost spoje $k = 1,4$ vyhovuje.

Aby byla zajištěna vypočítaná osová síla, je níže vypočten potřebný utahovací moment šroubu (podle vztahu 5.12). Do výpočtu vstupuje moment tření pod hlavou, který se spočítá podle 5.13.

$$M_U = M_{TZ} + M_{TH} \quad (5.12)$$

$$M_{TH} = F_o \cdot f_H \cdot \frac{d_s}{2} \quad (5.13)$$

$$d_s = \frac{d_0 + d_H}{2} = \frac{3 + 5,4}{2} = 4,2 \text{ mm}$$

$$M_{TH} = 344 \cdot 0,2 \cdot \frac{4,2}{2} = 144,5 \text{ Nmm}$$

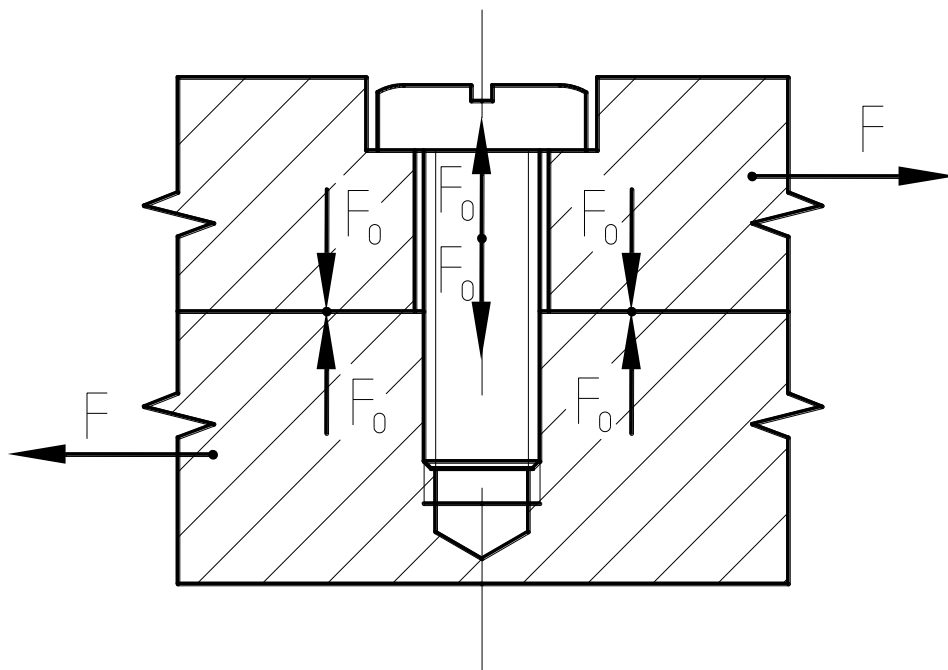
Mohlo by se zdát, že moment tření pod hlavou nebude vzhledem ke drážce působit celou svou velikostí, ale je třeba počítat s nárůstem tření pro překonání ostré hrany okraje této drážky. Proto počítám s celým tímto momentem.

$$M_U = 135,5 + 144,5 = 280 \text{ Nmm} = 0,28 \text{ Nm}$$

Pro osovou sílu $F_o = 344 \text{ N}$ byla provedena kontrola šroubu i výpočet potřebného utahovacího momentu. Nyní je tedy možné stanovit sílu F , kterou je šroubový spoj schopen přenést. Síly působící ve šroubovém spoji jsou znázorněny na obrázku 27.

Síla přenesená šroubovým spojem:

Předpětí F_o vyvolá mezi spojenými plochami tření, které zamezí jejich pohybu. Bezpečnost proti prokluzu spojovaných částí volím $k_p = 1,3$ a koeficient tření $f = 0,5$ (jak již bylo uvedeno). Koeficient k_p zahrnuje odchylky koeficientu tření, které mohou nastat při různě provedené povrchové úpravě stykových ploch.



Obr. 27 – Působení sil ve šroubovém spoji

$$F = \frac{F_o \cdot f}{k_p} \quad (5.14)$$

$$F = \frac{344 \cdot 0,5}{1,3} = 132 \text{ N}$$

Navržený šroubový spoj je tedy schopen přenést sílu $F = 132 \text{ N}$, která může vzniknout v důsledku nerovnosti nebo zborcení stěny prostřihávaného profilu. V případě překročení této síly dojde k prokluzu vymešovacích kamenů.

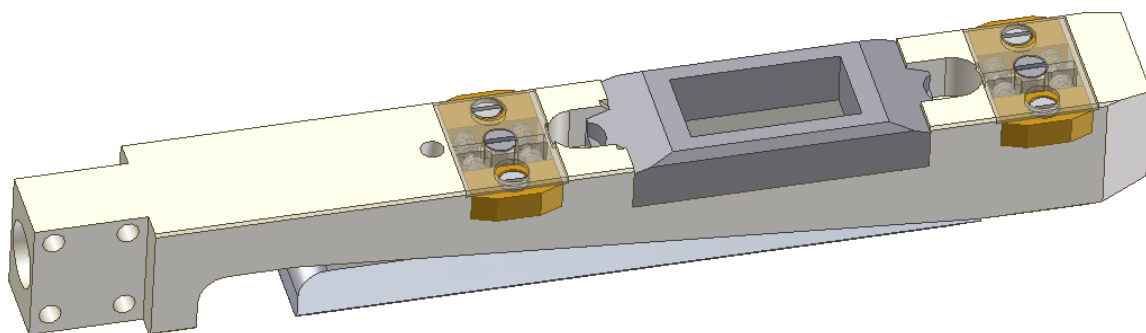
Tato varianta splňuje základní cíl, nicméně její nevýhodou je nutnost přesného nastavení vymešovacích kamenů a možnost uvolnění šroubového spoje u nepřesných profilů. Je tedy vhodná pro přesnější profily.

5.3 Návrh 2 – rozpínání pomocí pružin

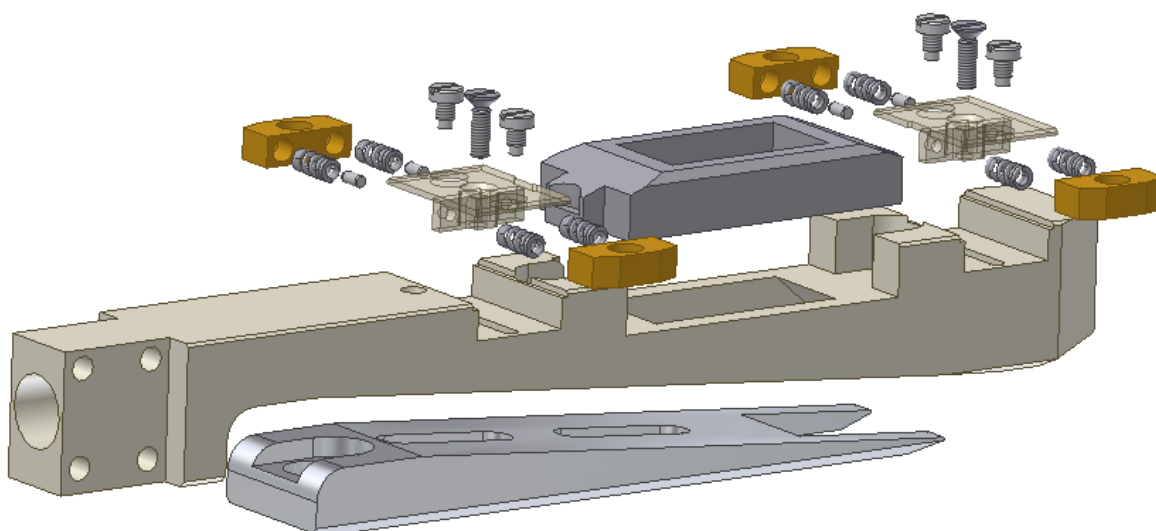
Tento návrh je vytvořen tak, aby byly vyřešeny nevýhody předchozího návrhu. Vymešovací kameny tedy není možné pevně přichytit k tělu adaptéru, ale musí být volně pohyblivé. Pohyb kamenů musí být omezen, aby nemohlo dojít k jejich vypadnutí. Maximální vysunutí kamenů je omezeno upraveným koncem šroubu, pohybujícím se v drážce. Tyto upravené šrouby tedy fungují jako dorazy a nemůže dojít ke kolizi při nasunování do profilu.

Oba páry kamenů jsou z těla adaptéru vytlačovány pružinami, které zajistí dostatečnou sílu pro horizontální rozeptnutí adaptéru. Pružiny musejí být vázány i na tělo adaptéru (nelze odtlačovat kameny od sebe navzájem jednou pružinou), proto je třeba vyřešit i tuto návaznost. Další konstrukční zásahy do těla adaptéru by byly nežádoucí, kvůli narůstajícím nákladům na jeho výrobu. Z důvodu zajištění vazby pružin k tělu adaptéru a zamezení zanášení nečistot do prostoru pružin jsem navrhl krytování vymezením desek. Výroba krytování může být z obyčejné konstrukční oceli, nebo i nějakého druhu plastu (např. PA6, což je polyamid s vysokou mechanickou pevností, tvrdostí a odolností proti oděru).

Adaptér je díky tomuto řešení možné zasunout i do méně přesných profilů, které mohou být prohnuté, nebo mít mírně zborčené stěny. Řešení je znázorněno na obrázcích níže.

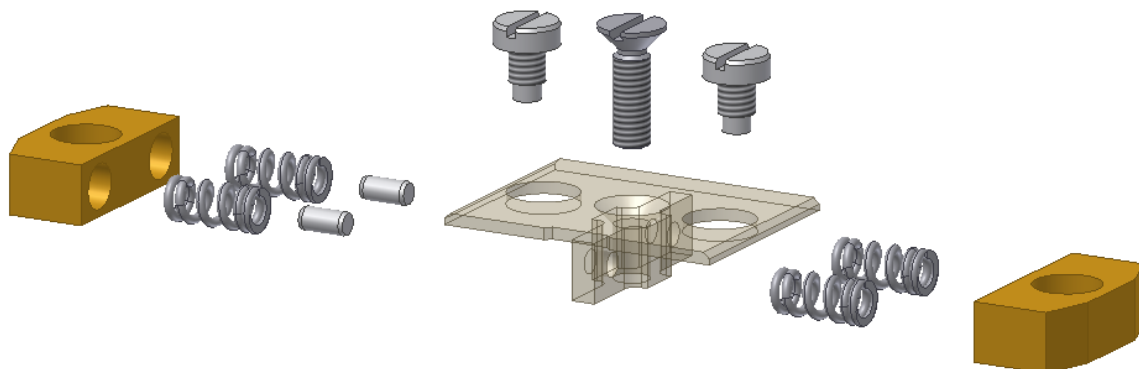


Obr. 28 – Návrh 2 s rozpínáním pružinami

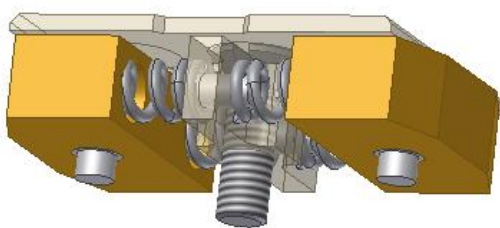


Obr. 29 – Jednotlivé součásti návrhu

K tělu adaptéru je šroubem uchycena krytka s kolíky. Na tyto kolíky se nasunou pružiny, na které jsou dále nasazeny vymežovací kameny. Kameny se zatlačí do těla adaptéru a následně šroubem zajistí proti vyskočení. Detail je na obrázku 30 a 31. Na obr. 31 jsou vidět hladké konce šroubů sloužící jako dorazy.



Obr. 30 – Detail součástí rozpínání vymežovacích desek



Obr. 31 – Detail sestaveného rozpínání vymežovacích desek

Pružiny jsou od výrobce Hennlich [23], typ 53/17/4 s parametry uvedenými v tabulce 10. V pracovní poloze L_1 (poloha, ve které se kámen dotýká stěny profilu) jsou pružiny stlačeny o 8,3 mm, proto je níže uveden výpočet přesné směrové síly F_1 v této poloze.

Směrová síla F_1 v pracovní poloze L_1 :

$$F_1 \cdot L_1 = F_n \cdot L_n \quad (5.15)$$

$$F_1 = \frac{F_n \cdot L_n}{L_1} = \frac{52,5 \cdot 8,3}{8} = 50,6 N$$

Tab. 10 – Parametry pružiny Hennlich 53/17/4 podle [23]

	$d = 0,75 \text{ mm}$
	$D_e = 3,75 \text{ mm}$
	$D = 3 \text{ mm}$
	$D_i = 2,25 \text{ mm}$
	$L_0 = 12,4 \text{ mm}$
	$n = 8$
	$L_n = 8,3 \text{ mm}$
	$F_n = 52,5 \text{ N}$
	$L_1 = 8 \text{ mm}$
	$F_1 = 50,6 \text{ N}$
	$m = 0,33 \text{ g}$

Každý kámen je z těla adaptéru vytlačován dvěma pružinami, které dohromady vyvolají sílu 101,2N ($2 \times F_1$). Tato síla je dostatečná pro horizontální vymezení vůlí adaptéru.

Tato varianta při minimálním zásahu do těla adaptéru splňuje základní cíl. Navíc odstraňuje nevýhody předchozího řešení jako například nemožnost použití pro profily s horší přesností, u kterých může být velký rozdíl tolerancí. Výhodou tohoto řešení je také to, že není nutné kameny jakkoliv ustavovat pro různé výrobní série profilů stejného rozměru.

6 Závěr

V první části diplomové práce je popsána problematika bezdeformačního prostřihávání uzavřených profilů a jsou uvedeny podrobnosti o prostřihovacím stroji HPM-M, včetně návrhu vhodného systému údržby. Část je také věnována dávkovému mazání střížné plochy, které má za cíl zlepšit kvalitu střížné hrany.

Cílem bylo zejména navrhnout inovaci konstrukčního řešení střížného adaptéru. Provedl jsem jeho pevnostní kontrolu metodou konečných prvků. Na základě velikosti napětí na jednotlivých součástech adaptéru jsem navrhnul novou kombinaci materiálů těchto součástí a opět provedl pevnostní kontrolu se stanovením bezpečností. Při použití navržených materiálů předpokládám snížení ceny jak za materiál, tak i za jeho opracování.

V poslední části diplomové práce jsou uvedeny dva návrhy řešení pro horizontální ustavení adaptéru v prostřihávaných profilech. První návrh je založen na přesném ustavení vymezovacích kamenů dle použitého profilu a jejich následném upevnění pomocí šroubu. Je vhodný pro přesnější profily a jeho výhodou je jednoduchost. Druhý návrh využívá pružin k odtlačení kamenů do pracovní polohy. Tím je docíleno horizontální vystředění adaptéru. Toto řešení považuji za nejlepší, protože při minimálním zásahu do těla adaptéru splňuje základní cíl a navíc odstraňuje nevýhody předchozího řešení. Adaptér je tedy možné zasunout i do méně přesných profilů, které mohou být prohnuté, nebo mít mírně zborcené stěny. Velkou výhodou tohoto návrhu je to, že není nutné kameny jakkoliv ustavovat pro různé výrobní série profilů stejného rozměru.

Cíle této diplomové práce byly splněny a je na zvážení společnosti ELVAC AUTOMATION, zda navržené změny, jak materiálů jednotlivých součástí adaptéru, tak i návrhu horizontálního středění v praxi aplikuje.

Výkresová dokumentace je součástí zvláštní dokumentace [24], která bude k dispozici pouze oponentům a členů komise pro obhajobu a to vzhledem k ochraně duševního vlastnictví společnosti ELVAC AUTOMATION s.r.o.

7 Použitá literatura

- [1] *ELVAC AUTOMATION s.r.o.* [online]. c1998-2009 [cit. 2009-12-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.elvac.cz>>.
- [2] ČSN 22 6001. *Názvosloví technologie tváření kovů*. Praha: Český normalizační institut, 1967. 28 s.
- [3] Ing. HLUCHÝ, Miroslav, Ing. KOLOUCH, Jan, Ing. PAŇÁK, Rudolf. *STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE 2 - 1. díl: Polotovary a jejich technologičnost*. 2. upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. 320 s. ISBN 80-7183-244-8.
- [4] ČABELKA, Josef. *Mechanická technológia*. 1. vyd. Bratislava: SAV, 1967. 1036 s. ISBN 80-7183-244-8.
- [5] *Punch Tools* [online]. c2010 [cit. 2010-02-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.punchtools.com>>.
- [6] JUDr. ZELENKA MIROSLAV. *Zařízení pro bezdeformační prostřihávání otvorů do profilů*. Původce vynálezu: JUDr. ZELENKA Miroslav. Int.Cl.: B 21 D 28/28. *Úřad průmyslového vlastnictví*, 295 014. 2005-03-16.
- [7] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost IV: Provoz a údržba strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 127 s. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [8] Morávia - Chem, s.r.o. *Technický list produktu CINOL OH HM 46*. 2006.
- [9] *TriboTec* [online]. 2010 [cit. 2010-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.tribotec.cz>>.
- [10] TriboTec. *Mikromazání Lubetools*. [online]. [cit. 2010-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.tribotec.cz/tribotec/cz/pdf/08-smesovaci/04-lubetools/dokumentace-lubetools.pdf>>.
- [11] *Oleje.cz* [online]. c2005-2009 [cit. 2010-04-17]. E-Shop. Dostupné z WWW: <<http://oleje.cz/eshop>>.
- [12] *T-PROM s.r.o.* [online]. c2006 [cit. 2010-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.tprom.cz>>.

- [13] ČADA, Radek. *Technologie I: Část tváření a slévání*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0795-5.
- [14] ELVAC AUTOMATION s.r.o. *Firemní materiály*.
- [15] *Special Springs s.r.l.* [online]. c2010 [cit. 2010-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.specialsprings.com>>.
- [16] *A.E.M. srl di Rota & C.* [online]. c2010 [cit. 2010-04-30]. Dostupné z WWW: <http://www.aemsrl.it/eng/polyurethan_elastomers_dies_springs.htm>.
- [17] AUTODESK, Inc. *Inventor 2010* [počítačový program]. Ver. 2010. [USA], 2010 [citováno 2010-04-21]. CAD software.
- [18] CADfórum. *Prah upřesnění pro výpočet pevnosti*. [online]. [cit. 2010-04-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.cadforum.cz/cadforum/prah-upresneni-pro-vypocet-pevnosti-tip6998>>.
- [19] *Bohdan Bolzano s.r.o.: Technická příručka* [online]. c1998-2004 [cit. 2010-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://prirucka.bolzano.cz>>.
- [20] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [21] LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 3. vyd. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-164-6.
- [22] KALÁB, Květoslav. *Vysokoškolská příručka: Konstrukční návrh a výpočet ručního šroubového zvedáku*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003.
- [23] *Hennlich Industrietechnik, spol. s r.o.* [online]. c2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.hennlich.cz>>.
- [24] ZUBALÍK, Martin. *Zvláštní dokumentace k inovaci konstrukčního řešení pro bezdeformační prostřihávání uzavřených profilů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010.